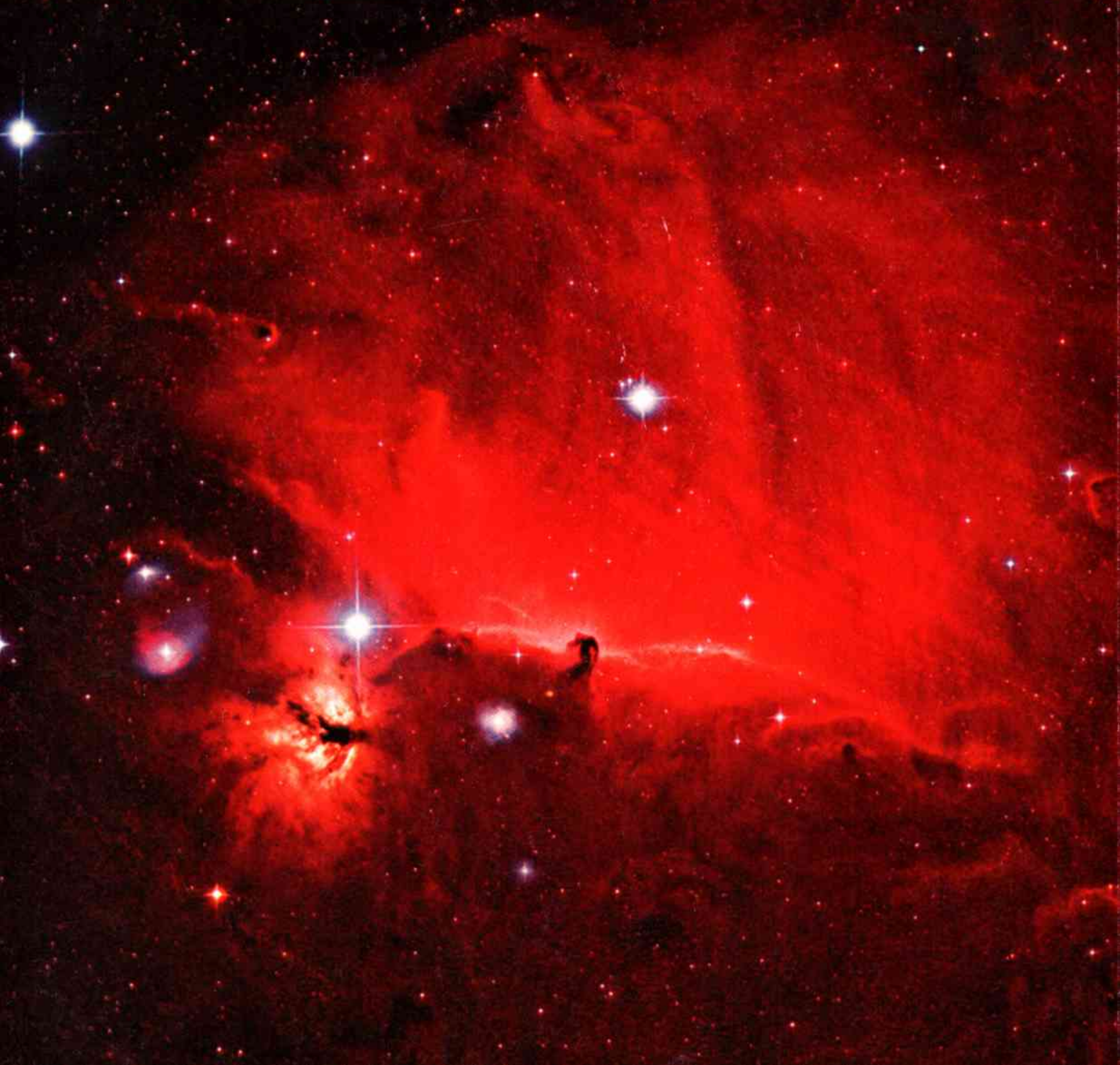
نجوم به زبان ساده

مایر دگانی
مترجم: محمدرضا خواجه پور

ویرایش جدید



۴۵۵

نجوم به زبان ساده

مایر دگانی

مترجم: محمدرضا خواجه‌پور

ویرایش جدید
چاپ هشتم

موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی
گیتاشناسی
WWW.GITASHENASI.COM

سرشناسه	: دگانی، مایر اچ. Degani, Meir H
عنوان و نام پدیدآور	: نجوم به زبان ساده / مایر دگانی : مترجم محمدرضا خواجه‌پور.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲.
مشخصات نشر	: تهران: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی ، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	: ۵۱۲ ص. : مصور، جدول، نمودار.
فروست	: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی: ۴۵۵.
شابک	: ۷۰۰۰۰ ریال : ۹۷۸-۹۶۴-۳۴۲-۲۵۴-۷
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Astronomy made simple ، c1976
یادداشت	: چاپ هفتم.
یادداشت	: چاپ هشتم.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: نجوم -- به زبان ساده
شناسه افزوده	: خواجه‌پور، محمدرضا، ۱۳۲۰- ، مترجم
شناسه افزوده	: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی
رده بندی کنگره	: QB۴۴/۲ /د۸ن۳ ۱۳۸۸
رده بندی دیویی	: ۵۲۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۹۶۵۳۵۹

تهیه، لیتوگرافی و چاپ از:

مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی

نمایشگاه و فروشگاه مرکزی: تهران: میدان هفت تیر، ابتدای خیابان کریمخان زند، شماره ۱۷
کد پستی: ۱۵۸۵۹۱۷۷۱۴، صندوق پستی: ۳۴۴۱-۱۴۱۵۵
تلفن: ۸۲-۸۸۳۴۲۳۷۸، نمابر: ۸۸۸۳۹۳۶۲، Email: info@gitashenasi.com

مرکز پخش و فروش: تهران: خیابان انقلاب اسلامی، چهارراه ولی عصر، جنب پارک دانشجو، خیابان رازی، خیابان استاد شهریار، شماره ۳۰، کد پستی: ۱۱۳۳۷۳۴۶۱۱،
تلفن: ۶۶۷۰۳۲۲۱ و ۶۶۷۰۳۴۶۰ و ۶۶۷۱۳۶۰۳، نمابر: ۶۶۷۰۵۷۸۲

*** نجوم به زبان ساده**

*** نویسنده: مایر دگانی**

*** مترجم: محمدرضا خواجه پور**

*** نخستین چاپ: اسفندماه ۱۳۶۱**

*** چاپ اول (از ویرایش جدید)، اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۶**

*** چاپ هشتم (از ویرایش جدید)، نوروز ۱۳۹۰**

*** چاپ: هامون**

*** صحافی: هامون**

*** تیراژ: ۵۰۰۰ جلد**

*** قیمت: ۷۰،۰۰۰ ریال**

شابک ۷-۲۵۴-۳۴۲-۹۶۴-۹۷۸
ISBN 978-964-342-254-7

فهرست مندرجات

مقدمه مترجم بر ویرایش جدید .... خ

مقدمه مترجم .... د

تاریخچهٔ نجوم ۱

۰-۱ دورهٔ زمین مرکزی ۱

۰-۲ دورهٔ کهکشانی............... ۱

۰-۳ دورهٔ کیهانی ۲

فصل ۱: جهان.................... ۵

قسمت اول: اجزاء تشکیل‌دهندهٔ جهان ۵

۱-۱ مقدمه و تعاریف............ ۵

۱-۲ چرا به مطالعهٔ نجوم می‌پردازیم؟ ۵

۱-۳ اجزاء تشکیل‌دهنده ۶

۱-۴ ستارگان................ ۶

۱-۵ سحابی‌ها.............. ۶

۱-۶ سیارات............... ۷

۱-۷ سیارک‌ها............ ۸

۱-۸ اقمار............. ۸

۱-۹ ستاره‌های دنباله‌دار (ذوذنب) ۹

۱-۱۰ شهابوارها.............. ۹

قسمت دوم: نقش جهان............. ۱۰

۱-۱۱ مقدمه............... ۱۰

۱-۱۲ خورشید.............. ۱۰

۱-۱۳ سیارات.............. ۱۱

۱-۱۴ منظومهٔ شمسی ۱۱

۱-۱۵ ستارگان ۱۲

۱-۱۶ کهکشان ما............... ۱۲

۱-۱۷ کهکشان‌های دیگر ۱۲

۱-۱۸ خلاصه................. ۱۳

۱-۱۹ طرح جهان بر حسب مقیاس فواصل واقعی...................... ۱۳

۱-۲۰ تاریخچهٔ جهان ۱۴

۱-۲۱ چشم برهنه چه می‌بیند؟.......... ۱۴

فصل ۲: رصد ستارگان، بدون تلسکوپ ۱۷

قسمت اول: دب اکبر ۱۷

۲-۱ مقدمه.................. ۱۷

۲-۲ ستاره‌های دب اکبر........... ۱۸

۲-۳ مقیاس فواصل زاویه‌ای.......... ۱۸

۲-۴ افسانه‌ها................ ۱۹

۲-۵ نام‌های دیگر ۲۰

۲-۶ روشنی ظاهری ستارگان.......... ۲۰

۲-۷ طبقه‌بندی ابرخس بر اساس روشنی ستارگان...................... ۲۰

۲-۸ قسمت‌بندی اعشاری قدرهای ظاهری . ۲۰

۲-۹ رابطهٔ میان قدر ظاهری و روشنی ظاهری ۲۱

۲-۱۰ مقادیر صفر و منفی قدر ظاهری ... ۲۱

۲-۱۱ تعیین قدرهای ظاهری ۲۲

۲-۱۲ حرکات ظاهری روزانهٔ ستارگان.... ۲۴

۲-۱۳ حرکت ظاهری سالانهٔ ستارگان ۲۶

قسمت دوم: ستارگان دورقطبی شمالی ۲۷

۲-۱۴ مقدمه ۲۷
۲-۱۵ عرض جغرافیایی و ستارگان دورقطبی شمالی ۲۷
۲-۱۶ صورت‌های فلکی دورقطبی‌شمالی . ۲۷
۲-۱۷ دب اصغر ۲۸
۲-۱۸ ستارگان دب اصغر ۲۸
۲-۱۹ افسانه‌ها ۲۸
۲-۲۰ جُدی و جهت‌یابی ۲۹
۲-۲۱ قطب‌های آسمان ۲۹
۲-۲۲ معدل‌النهار یا استوای آسمان ۳۰
۲-۲۳ ذات‌الکرسی و قیفاوس ۳۰
۲-۲۴ ستارهٔ تیخو ۳۰
۲-۲۵ ستارگان قیفاوسی ۳۰
۲-۲۶ راه‌کاهکشان ۳۱
۲-۲۷ افسانه‌های مربوطه به کاسیوپیه (ذات‌الکرسی) وکفئوس (قیفاوس) ۳۱
۲-۲۸ صورت فلکی تِنّین یا اژدها ۳۱
۲-۲۹ نقشهٔ صورت‌های دور قطبی شمالی . ۳۲
۲-۳۰ نام‌های ستارگان ۳۲
۲-۳۱ نقشهٔ ستارگان را چگونه به کار بریم؟. ۳۳
۲-۳۲ حرکات ظاهری روزانه و سالانهٔ ستارگان ۳۳
قسمت سوم: ستارگان غیردورقطبی ۳۴
۲-۳۳ مقدمه ۳۴
۲-۳۴ صورت‌های فلکی بهمن ماه ۳۶
۲-۳۵ ستاره‌های جبّار ۳۶
۲-۳۶ پیداکردن جبار در آسمان ۳۷
۲-۳۷ جبار در افسانه‌ها ۳۷
۲-۳۸ ستاره‌های مُمسِک‌العنان یا ارابه‌ران .. ۳۷
۲-۳۹ پیداکردن ارابه‌ران ۳۸
۲-۴۰ صورت‌های فلکی اسفندماه ۳۸
۲-۴۱ ستاره‌های جوزا یا دوپیکر (توأمان) .. ۳۸
۲-۴۲ ستاره‌های کلب اصغر یا سگ خُرد .. ۳۹
۲-۴۳ ستاره‌های کلب اکبر یا سگ بزرگ . ۳۹
۲-۴۴ افسانه‌های مربوط به سگ‌ها ۳۹
۲-۴۵ پیداکردن دو پیکر و سگ‌ها ۴۰
۲-۴۶ صورت‌های فلکی فروردین‌ماه ۴۰
۲-۴۷ ستاره‌های اسد ۴۰
۲-۴۸ پیداکردن اسد ۴۱
۲-۴۹ شجاع یا مار باریک ۴۱
۲-۵۰ صورت‌های فلکی اردیبهشت‌ماه ... ۴۱
۲-۵۱ صورت‌های فلکی خردادماه ۴۱
۲-۵۲ ستاره‌های عوّا ۴۳
۲-۵۳ پیداکردن عوّا در آسمان ۴۳
۲-۵۴ ستاره‌های سنبله یا عَذرا(دوشیزه) ... ۴۳
۲-۵۵ پیداکردن سنبله ۴۴
۲-۵۶ صورت‌های فلکی تیرماه ۴۴
۲-۵۷ ستاره‌های عقرب ۴۵
۲-۵۸ ستارهای اکلیل شمالی یا فَکّه (یا کاسه درویشان) ۴۵
۲-۵۹ اکلیل شمالی در اساطیر ۴۵
۲-۶۰ صورت‌های فلکی مردادماه ۴۵
۲-۶۱ ستاره‌های صورت فلکی جاثی ۴۶
۲-۶۲ صورت‌های فلکی شهریورماه ۴۷
۲-۶۳ ستاره‌های شلیاق یا چنگ رومی ... ۴۷
۲-۶۴ افسانه‌های مربوط به چنگ رومی ... ۴۸
۲-۶۵ ستاره‌های دَجاجه ۴۸
۲-۶۶ ستاره‌های قوس یاکمان (رامی) ۴۸
۲-۶۷ ستاره‌های عقاب ۴۹
۲-۶۸ صورت‌های فلکی مهرماه ۴۹
۲-۶۹ ستاره‌های حوت جنوبی ۵۰
۲-۷۰ صورت‌های فلکی آبان ماه ۵۰
۲-۷۱ ستاره‌های فَرَس اعظم ۵۰
۲-۷۲ پیداکردن فَرَس اعظم ۵۱
۲-۷۳ صورت‌های فلکی آذرماه ۵۱
۲-۷۴ ستاره‌های اِمرَأة‌المُسَلسَله ۵۱
۲-۷۵ اِمرَأة‌المسلسله (آندرومدا) در اساطیر. ۵۲
۲-۷۶ صورت‌های فلکی دی‌ماه ۵۲
۲-۷۷ ستاره‌های برساوش ۵۲
۲-۷۸ ستاره‌های ثور ۵۳

۲-۷۹ ستاره‌های نهر ۵۴
قسمت چهارم: ستارگان دورقطبی جنوبی ۵۴
۲-۸۰ مقدمه. ۵۴
۲-۸۱ ستاره‌های صورت فلکی حمّال ۵۵
۲-۸۲ ستاره‌های صلیب جنوبی. ۵۵
۲-۸۳ ستاره‌های قنطورس ۵٦

فصل ۳: اصول پیمایش ٦۱
۳-۱ مقدمه ٦۱
۳-۲ مدارات عرض جغرافیایی ٦۲
۳-۳ نصف‌النهارها ٦۲
۳-۴ کرهٔ آسمان. ٦۳
۳-۵ مدارات میل ٦۳
۳-٦ دایره‌های ساعتی. ٦۴
۳-۷ اثر عرض جغرافیایی بر منظرهٔ آسمان . ٦۷

فصل ۴: رصد ستاره‌ها با تلسکوپ‌های کوچک ٦۹
۴-۱ مقدمه ٦۹
۴-۲ فهرست برگزیده‌ای برای رصد کردن. . ۷۱
۴-۳ صورت‌های دورقطبی شمالی ۷۲
۴-۴ رصدهای بهمن‌ماه. ۷۳
۴-۵ رصدهای اسفندماه ۷۴
۴-٦ رصدهای فروردین‌ماه ۷۴
۴-۷ رصدهای اردیبهشت ماه. ۷۵
۴-۸ رصدهای خردادماه ۷۵
۴-۹ رصدهای تیرماه ۷٦
۴-۱۰ رصدهای مردادماه ۷۷
۴-۱۱ رصدهای شهریورماه. ۷۷
۴-۱۲ رصدهای مهرماه. ۸۰
۴-۱۳ رصدهای آبان ماه. ۸۰
۴-۱۴ رصدهای آذرماه. ۸۰
۴-۱۵ رصدهای دی ماه ۸۲
۴-۱٦ رصدهای دور قطبی جنوبی ۸۳

فصل ۵: تلسکوپ و کاربردهای آن. ۸۵

قسمت اول: تلسکوپ‌های شکستی ۸۵
۵-۱ مقدمه ۸۵
۵-۲ فرایند «دید». ۸۵
۵-۳ مشخصات عدسی ۸۷
۵-۴ یک تلسکوپ شکستی ساده ۸۸
۵-۵ کجنمایی رنگی. ۸۹
۵-٦ کجنمایی کروی (نقص عدسی از لحاظ شکل) ۹۰
۵-۷ شیئی‌های تصحیح شده. ۹۱
۵-۸ چشمی‌ها ۹۱
۵-۹ چشمی هویگنسی ۹۲
۵-۱۰ چشمی کِلِنِر ۹۳
۵-۱۱ چشمی ارتوسکوپیک ۹۳
۵-۱۲ اندودن عدسی‌ها. ۹۳
۵-۱۳ توان‌های سه‌گانهٔ تلسکوپ ۹۴
۵-۱۴ توان جمع‌آوری نور یک تلسکوپ . ۹۵
۵-۱۵ توان تفکیک یک تلسکوپ ۹۵
۵-۱٦ توان بزرگنمایی یک تلسکوپ. . . . ۹۷
۵-۱۷ روش‌های استقرار تلسکوپ ۱۰۰
قسمت دوم: تلسکوپ‌های بازتابی ۱۰۲
۵-۱۸ مقدمه. ۱۰۲
۵-۱۹ نقره‌اندودکردن آینه ۱۰۲
۵-۲۰ طرح نورشناختی تلسکوپ. ۱۰۳
۵-۲۱ شکستی یا بازتابی؟ ۱۰۳
قسمت سوم: تلسکوپ‌های عدسی-آینه‌ای (کاتادیوپتریک) ۱۰۴
۵-۲۲ تلسکوپ اشمیت. ۱۰۴
۵-۲۳ تلسکوپ ماکسوتف - باورز. ۱۰۵
قسمت چهارم: یک وسیلهٔ کمکی ۱۰٦
۵-۲۴ لامپ تصویر ۱۰٦
قسمت پنجم: تلسکوپ‌های بزرگ و کاربردهای آنها ۱۰٦
۵-۲۵ تلسکوپ‌های بزرگ ۱۰٦
۵-۲٦ تلسکوپ ۵ متری ۱۰۸
۵-۲۷ تلسکوپ فضایی هابل ۱۱۳

قسمت ششم: عکس‌برداری نجومی ۱۱۳
۵-۲۸ عکس‌برداری............. ۱۱۳
۵-۲۹ دوربین CCD ۱۱۴
قسمت هفتم: تلسکوپ رادیویی.......... ۱۱۵
۵-۳۰ مقدمه ۱۱۵
۵-۳۱ مشابهت‌های تلسکوپ رادیویی با تلسکوپ بازتابی ۱۱۶
۵-۳۲ تفاوت‌ها................ ۱۱۶

فصل ۶: طیف‌نمایی ۱۱۹
۶-۱ مقدمه.................. ۱۱۹
۶-۲ طیف‌نما ۱۱۹
۶-۳ طیف‌نمای منشوری ۱۱۹
۶-۴ طیف‌نما با توری پراش.......... ۱۲۱
۶-۵ مقایسهٔ طیف‌نماها ۱۲۱
۶-۶ انواع طیف (مرئی) ۱۲۱
۶-۷ طیف ستارگان ۱۲۴
۶-۸ انواع طیف (انرژی)........... ۱۲۵

فصل ۷: خواص فیزیکی ستارگان ۱۲۷
قسمت اول: دمای ستارگان............... ۱۲۷
۷-۱ مقدمه.................. ۱۲۷
۷-۲ محاسبهٔ دمای ستارگان ۱۲۷
۷-۳ روش‌های دیگر تعیین دما......... ۱۲۸
قسمت دوم: فواصل ستارگان ۱۲۹
۷-۴ مقدمه.................. ۱۲۹
۷-۵ روش مستقیم ۱۲۹
۷-۶ واحدهای فواصل ستاره‌ای ۱۳۱
قسمت سوم: اندازهٔ ستارگان ۱۳۳
۷-۷ مقدمه.................. ۱۳۳
۷-۸ تعیین قطر ستاره با تداخل‌سنج ۱۳۴
۷-۹ تعیین قطر ستاره‌ها از روی درخشندگی آنها ۱۳۵
قسمت چهارم: جرم و چگالی ستارگان ۱۳۶
۷-۱۰ مقدمه ۱۳۶
۷-۱۱ جرم دوتایی‌های بصری ۱۳۷
۷-۱۲ جرم ستاره‌های چگال ۱۳۹
۷-۱۳ چگالی‌ها................. ۱۳۹
قسمت پنجم: حرکات ستارگان ۱۴۰
۷-۱۴ مقدمه.................. ۱۴۰
۷-۱۵ سرعت شعاعی.............. ۱۴۱
۷-۱۶ سرعت ظلی (مماسی) ۱۴۲
۷-۱۷ حرکت خاص ۱۴۲
۷-۱۸ سرعت ستاره در فضا ۱۴۳
قسمت ششم: طیف ستارگان ۱۴۳
۷-۱۹ گونه‌های طیفی.............. ۱۴۳
۷-۲۰ گونه‌های طیفی و دمای سطحی ستارگان ۱۴۵
قسمت هفتم: نمودار هرتسپرونگ- راسل ۱۴۵
۷-۲۱ مقدمه.................. ۱۴۵
۷-۲۲ نمودار هرتسپرونگ- راسل ۱۴۶
۷-۲۳ ستارگان رشتهٔ اصلی ۱۴۹
۷-۲۴ ستاره‌های بیرون از رشتهٔ اصلی ... ۱۵۰
۷-۲۵ ستارگان متغیر............. ۱۵۱
۷-۲۶ قیفاوسی‌ها................ ۱۵۱
۷-۲۷ دورهٔ تناوب قیفاوسی‌ها و قدر مطلق آنها.................. ۱۵۲
۷-۲۸ روش غیرمستقیم اندازه‌گیری فواصل ستاره‌ای................. ۱۵۳
۷-۲۹ ستاره‌های متغیر RR- شلیاقی ۱۵۴
۷-۳۰ روش غیرمستقیم دیگری برای اندازه‌گیری فواصل ۱۵۴
۷-۳۱ متغیرهای دراز دوره ۱۵۴
۷-۳۲ جای قیفاوسی‌ها بر نمودار هرتسپرونگ- راسل................ ۱۵۴
۷-۳۳ نواختران................ ۱۵۵
۷-۳۴ اَبَرنواختران، ستاره‌های نوترونی، سیاه‌چاله‌ها................ ۱۵۷

فصل ۸: مادهٔ میان- ستاره‌ای و سحابی‌ها ۱۶۳

۸-۱ مادهٔ میان- ستاره‌ای ۱۶۳
۸-۲ سحابی‌ها ۱۶۳
۸-۳ منشأ ماده میان- ستاره‌ای ۱۶۴

فصل ۹: ستارگان: انرژی و تکامل ۱۶۷
قسمت اول: انرژی ۱۶۷
۹-۱ بزرگی انرژی ۱۶۷
۹-۲ نظریهٔ گرانشی ۱۶۸
۹-۳ انرژی حاصل از منابع هسته‌ای ۱۶۸
قسمت دوم: سرگذشت یک ستاره ۱۶۸
۹-۴ مقدمه ۱۶۸
۹-۵ تولد ۱۷۰
۹-۶ نوباوگی ۱۷۰
۹-۷ بلوغ (ستارگان رشتهٔ اصلی) ۱۷۱
۹-۸ پختگی (غول‌های سرخ) ۱۷۳
۹-۹ کهولت (متغیرها) ۱۷۳
۹-۱۰ مراحل آخرین ۱۷۴

فصل ۱۰: کهکشان‌ها ۱۷۷
قسمت اول: کهکشان ما ۱۷۷
۱۰-۱ مقدمه ۱۷۷
۱۰-۲ مطالعهٔ کهکشان ما به کمک شمارش ستاره‌ها ۱۷۹
۱۰-۳ مطالعهٔ کهکشان ما به کمک خوشه‌های کروی ۱۷۹
۱۰-۴ دوران کهکشان ما ۱۸۱
۱۰-۵ مطالعهٔ کهکشان ما به کمک تلسکوپ‌های رادیویی ۱۸۲
۱۰-۶ ساختار کهکشان ما ۱۸۲
۱۰-۷ مادهٔ تاریک در هالهٔ کهکشان ۱۸۳
قسمت دوم: کهکشان‌های دیگر ۱۸۳
۱۰-۸ مقدمه ۱۸۳
۱۰-۹ ابر بزرگ ماژلان ۱۸۴
۱۰-۱۰ ابر کوچک ماژلان ۱۸۵
۱۰-۱۱ گروه محلی کهکشان‌ها ۱۸۵
۱۰-۱۲ کهکشان اِمرأةالمُسلسله ۱۸۶
۱۰-۱۳ کهکشان‌های دوردست ۱۸۷
۱۰-۱۴ طبقه‌بندی کهکشان‌ها ۱۸۸
۱۰-۱۵ کهکشان‌های رادیویی ۱۸۹
۱۰-۱۶ کهکشان‌های فعال ۱۸۹
۱۰-۱۷ اخترنماها (چشمه‌های رادیویی شبه اختری) ۱۹۰
۱۰-۱۸ جابه‌جایی خطوط طیفی به سمت رنگ سرخ ۱۹۱
۱۰-۱۹ انبساط عالم ۱۹۲
قسمت سوم: پیدایش و تحول عالم ۱۹۳
۱۰-۲۰ نظریه‌های متداول ۱۹۳
۱۰-۲۱ ماده تاریک در عالم ۱۹۵

فصل ۱۱: منظومهٔ شمسی ۱۹۷
قسمت اول: خورشید ۱۹۷
۱۱-۱ اطلاعات اساسی ۱۹۷
۱۱-۲ مقدمه ۱۹۸
۱۱-۳ فاصله ۱۹۸
۱۱-۴ قطر ۱۹۸
۱۱-۵ حجم ۱۹۹
۱۱-۶ جرم ۱۹۹
۱۱-۷ چگالی ۲۰۰
۱۱-۸ گرانش سطحی ۲۰۱
۱۱-۹ نور سپهر ۲۰۱
۱۱-۱۰ کلف‌های خورشیدی ۲۰۲
۱۱-۱۱ دوران خورشید ۲۰۵
۱۱-۱۲ زاویهٔ میل محور خورشید ۲۰۶
۱۱-۱۳ مشعل‌ها ۲۰۶
۱۱-۱۴ لایهٔ واگردان ۲۰۷
۱۱-۱۵ فام‌سپهر ۲۰۸
۱۱-۱۶ زبانه‌ها ۲۰۹
۱۱-۱۷ شراره‌های فام‌سپهری ۲۰۹
۱۱-۱۸ خاموشی‌های رادیویی ۲۱۰
۱۱-۱۹ تغییرات میدان مغناطیسی زمین بر اثر

تابش فرابنفش ۲۱۱
۱۱-۲۰ تغییرات میدان مغناطیسی زمین در اثر شراره‌های فام‌سپهری ۲۱۱
۱۱-۲۱ شفق‌های قطبی ۲۱۲
۱۱-۲۲ گسیل امواج رادیویی ۲۱۲
۱۱-۲۳ تاج ۲۱۳
۱۱-۲۴ خورطیف‌نگار ۲۱۴
۱۱-۲۵ پژوهش‌های جدید ۲۱۶
قسمت دوم: مکانیک منظومهٔ شمسی ۲۱۹
مقدمه ۲۱۹
۱۱-۲۶ قانون اول کپلر دربارهٔ حرکت سیارات ۲۱۹
۱۱-۲۷ قانون دوم کپلر دربارهٔ حرکت سیارات ۲۲۱
۱۱-۲۸ قانون سوم کپلر دربارهٔ حرکت سیارات ۲۲۲
۱۱-۲۹ ارزیابی سه قانون کپلر ۲۲۳
۱۱-۳۰ قانون عام گرانش نیوتن ۲۲۳
۱۱-۳۱ کاربرد قانون گرانش ۲۲۴
۱۱-۳۲ حرکت ظاهری سیارات به صورتی که از زمین دیده می‌شود ۲۲۵
۱۱-۳۳ دورهٔ تناوب نجومی و دورهٔ تناوب هلالی یک سیاره ۲۲۶
قسمت سوم: اطلاعات اساسی مربوط به سیارات: چگونه این اطلاعات را به دست می‌آوریم؟ ۲۲۸
۱۱-۳۴ مقدمه ۲۲۸
۱۱-۳۵ فاصله از خورشید ۲۲۸
۱۱-۳۶ خروج از مرکز ۲۲۹
۱۱-۳۷ زاویهٔ میل مدار با دایرةالبروج ۲۲۹
۱۱-۳۸ دوره تناوب نجومی ۲۲۹
۱۱-۳۹ دورهٔ تناوب هلالی ۲۳۰
۱۱-۴۰ سرعت مداری ۲۳۰
۱۱-۴۱ فاصلهٔ یک سیاره از زمین ۲۳۰
۱۱-۴۲ قطر زاویه‌ای ۲۳۰
۱۱-۴۳ قطر خطی ۲۳۱
۱۱-۴۴ حجم ۲۳۱
۱۱-۴۵ جرم ۲۳۱
۱۱-۴۶ چگالی ۲۳۲
۱۱-۴۷ شتاب گرانش ۲۳۲
۱۱-۴۸ سرعت گریز ۲۳۲
۱۱-۴۹ دوره تناوب حرکت وضعی ۲۳۳
۱۱-۵۰ زاویهٔ میان استوای سیارات و صفحهٔ مدار آن‌ها ۲۳۳
۱۱-۵۱ دما ۲۳۳
۱۱-۵۲ نسبت بازتاب ۲۳۴

فصل ۱۲: سیارات زیرین (سفلی) ۲۳۵
۱۲-۱ مقدمه ۲۳۵
قسمت اول: سیارهٔ عطارد (تیر) ۲۳۵
۱۲-۲ اطلاعات اساسی ۲۳۵
۱۲-۳ مواقع رصدکردن ۲۳۶
۱۲-۴ چه می‌بینیم؟ ۲۳۷
۱۲-۵ عبور ۲۳۸
۱۲-۶ اهله ۲۳۸
۱۲-۷ دورهٔ تناوب حرکت وضعی ۲۴۰
۱۲-۸ دما ۲۴۱
۱۲-۹ نسبت بازتاب ۲۴۱
۱۲-۱۰ شتاب گرانش در سطح و سرعت گریز ۲۴۱
۱۲-۱۱ حرکت حضیض خورشیدی عطارد ۲۴۲
قسمت دوم: سیارهٔ زهره (ناهید) ۲۴۳
۱۲-۱۲ اطلاعات اساسی ۲۴۳
۱۲-۱۳ مقدمه ۲۴۴
۱۲-۱۴ مواقع رصدکردن زهره ۲۴۴
۱۲-۱۵ چه می‌بینیم؟ ۲۴۵
۱۲-۱۶ اهلهٔ زهره و قطر ظاهری آن ۲۴۸
۱۲-۱۷ روشنی ۲۴۸
۱۲-۱۸ عبور ۲۴۹
۱۲-۱۹ دوره تناوب حرکت وضعی ۲۴۹

۱۲-۲۰ سطح سیاره ۲۵۰
۱۲-۲۱ ابرها و جو زهره ۲۵۱

فصل ۱۳: زمین و ماه ۲۵۳
قسمت اول: زمین ۲۵۳
۱۳-۱ اطلاعات اساسی ۲۵۳
۱۳-۲ مقدمه ۲۵۴
۱۳-۳ حرکت وضعی ۲۵۴
۱۳-۴ شکل زمین ۲۵۶
۱۳-۵ حرکت انتقالی به دور خورشید ... ۲۵۶
۱۳-۶ زاویه میل استوای آسمان با دایرةالبروج ۲۵۷
۱۳-۷ تقدیم اعتدالین ۲۵۹
۱۳-۸ رقص محوری ۲۶۱
۱۳-۹ ساختمان داخلی زمین ۲۶۱
۱۳-۱۰ مغناطیس زمین ۲۶۳
۱۳-۱۱ کمربند ذرات باردار پرانرژی ... ۲۶۴
۱۳-۱۲ جو ۲۶۵
۱۳-۱۳ جو در نجوم ۲۶۸
قسمت دوم: ماه ۲۶۹
۱۳-۱۴ اطلاعات اساسی ۲۶۹
۱۳-۱۵ مقدمه ۲۷۰
۱۳-۱۶ ماه در مدار خود ۲۷۰
۱۳-۱۷ جزر و مد (کشند) ۲۷۱
۱۳-۱۸ اهلهٔ ماه ۲۷۳
۱۳-۱۹ ماه هلالی و ماه نجومی ۲۷۴
۱۳-۲۰ مسیر ماه به دور خورشید ۲۷۴
۱۳-۲۱ دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور ۲۷۵
۱۳-۲۲ رُخگرد ۲۷۶
۱۳-۲۳ سطح ماه ۲۷۷
۱۳-۲۴ شتاب گرانش سطحی ۲۸۰
۱۳-۲۵ دما ۲۸۱
۱۳-۲۶ مطالعهٔ ماه در عصر فضا ۲۸۱
۱۳-۲۷ سرگذشت ماه ۲۸۴
۱۳-۲۸ سفری به ماه ۲۸۵
۱۳-۲۹ حیات بر روی ماه ۲۸۷

فصل ۱۴: کسوف و خسوف ۲۸۹
۱۴-۱ مقدمه ۲۸۹
۱۴-۲ شرایط وقوع خسوف ۲۹۰
۱۴-۳ مدت خسوف ۲۹۲
۱۴-۴ خسوف جزئی ۲۹۲
۱۴-۵ دنبالهٔ خسوف‌ها ۲۹۲
۱۴-۶ کسوف ۲۹۳
۱۴-۷ دنبالهٔ کسوف‌ها ۲۹۵
۱۴-۸ فهرست کسوف‌ها ۲۹۶
۱۴-۹ شرح یک کسوف کلی ۲۹۷
۱۴-۱۰ اهمیت علمی کسوف کلی ۲۹۸

فصل ۱۵: سیارات زبرین ۳۰۱
قسمت اول: مریخ ۳۰۱
۱۵-۱ اطلاعات اساسی ۳۰۱
۱۵-۲ مقدمه ۳۰۲
۱۵-۳ مدارهای مریخ و زمین ۳۰۳
۱۵-۴ سطح سیاره ۳۰۳
۱۵-۵ جو ۳۰۷
۱۵-۶ فصول و آب و هوا ۳۰۹
۱۵-۷ حیات در مریخ ۳۱۰
۱۵-۸ قمرها ۳۱۱
۱۵-۹ سفر به مریخ ۳۱۲
قسمت دوم: سیارک‌ها ۳۱۳
۱۵-۱۰ اطلاعات اساسی ۳۱۳
۱۵-۱۱ مقدمه ۳۱۳
۱۵-۱۲ «کشف» نظری ۳۱۳
۱۵-۱۳ مدارهای سیارک‌ها ۳۱۵
۱۵-۱۴ دوره‌های تناوب نجومی سیارک‌ها ۳۱۶
۱۵-۱۵ سیارک‌های برجیسی ۳۱۶
۱۵-۱۶ سیارک‌ها از چه لحاظ مورد توجه اند؟ ۳۱۶

قسمت سوم: سیارهٔ مشتری (برجیس) ۳۱۷
۱۵-۱۷ اطلاعات اساسی ۳۱۷
۱۵-۱۸ مقدمه ۳۱۸
۱۵-۱۹ چه می‌بینیم؟ ۳۱۸
۱۵-۲۰ گسیل امواج رادیویی از مشتری ۳۲۲
۱۵-۲۱ ساختمان سیاره ۳۲۲
۱۵-۲۲ قمرها ۳۲۳
قسمت چهارم: سیارهٔ زحل (کیوان) ۳۲۷
۱۵-۲۳ اطلاعات اساسی ۳۲۷
۱۵-۲۴ مقدمه ۳۲۸
۱۵-۲۵ چه می‌بینیم؟ ۳۲۸
۱۵-۲۶ ساختمان سیاره ۳۲۹
۱۵-۲۷ حلقه‌ها ۳۳۰
۱۵-۲۸ قمرها ۳۳۳
قسمت پنجم: سیارهٔ اورانوس ۳۳۴
۱۵-۲۹ اطلاعات اساسی ۳۳۴
۱۵-۳۰ مقدمه ۳۳۵
۱۵-۳۱ کشف ۳۳۶
۱۵-۳۲ دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور ۳۳۶
۱۵-۳۳ قمرها ۳۳۷
قسمت ششم: سیاره نپتون ۳۳۸
۱۵-۳۴ اطلاعات اساسی ۳۳۸
۱۵-۳۵ مقدمه ۳۳۹
۱۵-۳۶ کشف نپتون ۳۴۰
۱۵-۳۷ ساختمان سیاره ۳۴۰
۱۵-۳۸ قمرها ۳۴۱
قسمت هفتم: سیارهٔ پلوتون ۳۴۲
۱۵-۳۹ اطلاعات اساسی ۳۴۲
۱۵-۴۰ مقدمه ۳۴۲
۱۵-۴۱ کشف پلوتون ۳۴۳
۱۵-۴۲ مدار ۳۴۵

فصل ۱۶: ستاره‌های دنباله‌دار و شهابوارها ۳۴۷
قسمت اول: ستاره‌های دنباله‌دار ۳۴۷
۱۶-۱ مقدمه ۳۴۷
۱۶-۲ ساختمان یک ستارهٔ دنباله‌دار ۳۵۰
۱۶-۳ مدار ستاره‌های دنباله‌دار ۳۵۳
۱۶-۴ زندگی و مرگ یک ستارهٔ دنباله‌دار ۳۵۵
قسمت دوم: شهابوارها ۳۵۶
۱۶-۵ مقدمه ۳۵۶
۱۶-۶ فراوانی ۳۵۹
۱۶-۷ شهاب‌سنگ‌ها ۳۶۱
۱۶-۸ چگونگی تشخیص شهاب‌سنگ‌ها ۳۶۱

فصل ۱۷: ماهواره‌ها ۳۶۵

فصل ۱۸: پیدایش منظومه شمسی ۳۶۹
۱۸-۱ مقدمه ۳۶۹
۱۸-۲ فرضیهٔ سحابی یا فرضیهٔ نیروی گریز از مرکز ۳۶۹
۱۸-۳ فرضیه‌های کشندی و تصادم ۳۷۱
۱۸-۴ فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه ۳۷۲
۱۸-۵ فرضیهٔ تلاطم ۳۷۳
۱۸-۶ فرضیهٔ پیش‌سیاره ۳۷۵
۱۸-۷ پیدایش قمرها ۳۷۶
۱۸-۸ پیدایش سیارک‌ها ۳۷۷
۱۸-۹ پیدایش ستارگان دنباله‌دار ۳۷۷
۱۸-۱۰ آیندهٔ منظومهٔ شمسی ۳۷۸

ضمیمه: تلسکوپ‌های دست‌ساخت ۳۸۱
مقدمه ۳۸۱
تلسکوپ شکستی دست‌ساخت ۳۸۲
تلسکوپ بازتابی دست‌ساخت ۳۸۷
فرهنگ اصطلاحات ۳۹۳
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۴۱۷
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۴۳۳
نمایه ۴۴۷

مقدمه مترجم بر ویرایش جدید

از نخستین چاپ فارسی «نجوم به زبان ساده» نزدیک به بیست‌وپنج سال می‌گذرد. اقبالی که دوستداران نجوم به این کتاب نشان دادند، یازده بار آن را به زیر ماشین چاپ برد. در این فاصله، نویسندهٔ کتاب دکتر مایر دگانی استاد کالج دریایی دانشگاه ایالتی نیویورک در امریکا، پیش از آن که ویرایش جدیدی از آن بپردازد، درگذشت. بیش از ده سال پیش ویرایش جدیدی بر اساس این کتاب ولی به دست مؤلفی دیگر (و به‌نام خود او) انتشار یافت. این ویرایش، در واقع تألیف جدیدی بود که در آن بسیاری از مطالب کتاب پیشین عیناً نقل شده بود. ولی مؤلف جدید ساختار کتاب را تغییر داده و البته مطالب زیادی هم بر آن افزوده بود؛ در نتیجه کتاب به یک کتاب درسی متعارف نزدیک‌تر و از منظور مؤلف اصلی دور شده بود (به مقدمهٔ مترجم بر چاپ اول نگاه کنید).

با توجه به این نکات بود که تصمیم گرفتم از ترجمه فارسی کتاب اصلی ویرایش جدیدی ارائه کنم که در آن نظم و ساختار اولیهٔ کتاب حفظ شود و به قصد روزآمد کردن کتاب، مطالبی بر آن افزوده و اصلاحاتی ضروری در آن انجام گیرد. این اصلاحات را به سه دسته می‌توان تقسیم کرد: (الف) تغییراتی که با تصحیح اعداد و ارقام و یا افزودن و کاستن چند کلمه امکان‌پذیر بود. (ب) اصلاحات و افزوده‌هایی که شامل یافته‌ها و مطالب جدید و مشتمل بر یک یا چند بند (پاراگراف) می‌شد. این افزوده‌های مترجم در متن کتاب، در جای مناسب وارد شده و با علامت ستاره (*) در ابتدا و انتهای بند افزوده، مشخص شده است. (پ) افزودن عکس‌ها و تصویرهایی که مطالب کتاب را روشن‌تر و گویاتر می‌سازد. همهٔ عکس‌ها (اعم از سیاه‌وسفید و رنگی) و شرح آنها در ترجمهٔ فارسی افزوده شده است. در یکی دو مورد هم نمودار یا شکلی به ضرورت اضافه شده است. به این طریق کتاب در همان چارچوب پیشین وکم‌وبیش به همان سبک و سیاق مؤلف اولیه، روزآمد شده است. لازم به تذکر است که در این بیست‌وپنج سال، پژوهش‌های نجومی واخترفیزیکی بسیار گسترده بوده و تکنیک‌های رصدی جدید باب شده است، که البته جز به اشاره از آنها نمی‌توان یاد کرد.

دوست عزیز آقای بابک امین تفرشی، یادداشت‌هایی را که در طول سالیان از «نجوم به زبان ساده» تهیه کرده بود در اختیار من گذاشت. پشتوانهٔ این یادداشت‌ها سال‌ها کار پیگیر و علاقه‌مندانه در روزنامه نگاری علمی بود. از او به خاطر لطف بی‌دریغش سپاسگزارم. از بخش فنی مؤسسهٔ گیتاشناسی با کار پیراسته‌شان در حروفچینی، طراحی، رسم دوبارهٔ شکل‌ها و استخراج اعلام و جز اینها، تشکر می‌کنم. آقای نادر حاتمی بار نظارت بر همهٔ این کارها و احیاناً انجام آنها، آرایش کتاب و نیز تهیهٔ بسیاری از عکس‌های نجومی را بر عهده داشت و چه بسا پیشنهادهای مفید که به مترجم داد. از او به خاطر همهٔ اینها و به

خاطر صبوری در کار، تشکر می‌کنم.

از آقای سعید بختیاری، مدیر مؤسسهٔ گیتاشناسی که با سعهٔ صدر انتشار ویرایش جدید «نجوم به زبان ساده» را متقبل شدند و در این کار از هیچ تلاشی فروگذار نکردند سپاسگزارم.

محمدرضا خواجه‌پور

مقدمهٔ مترجم
(بر نخستین چاپ)

«دانستن صورت عالم و چگونگی نهاد آسمان و زمین و. آنچه به میان این هر دو است از روی شنیدن و به تقلید گرفتن همچون چیزهای سخت سودمند است اندر پیشهٔ نجوم. ازیراک گوش به نامها و لفظها که منجمان به کار دارند خو کند و صورت بستن معانی آن آسان گردد تا چون به علت‌ها و حجت‌های آن بازآید و آن را به حقیقت خواهد تا بداند از اندیشه و فکرت آسوده بود و رنج آن از هر دو سو بر او گرد نیاید.»

ابوریحان بیرونی

نجوم، در شمار معدود دانش‌هایی است که علاقمند غیرمتخصص هنوز می‌تواند در پیشبرد آن سهمی داشته باشد. در تاریخ نجوم کشف‌های زیادی را می‌توان برشمرد که به وسیلهٔ این منجمان غیرحرفه‌ای صورت گرفته است. ت. ا. ر. فیلیپس کشیشی

که به خاطر مطالعاتش دربارهٔ مشتری شهرت یافت، و. هی بازیگر وکمدینی که در سال ۱۹۳۳ لکهٔ سفید زحل راکشف کرد، و. ف. دینِگ حسابداری که به خاطر پژوهش‌هایش دربارهٔ سیارات و شخانه‌ها به دریافت مدال طلای انجمن سلطنتی نجوم انگلستان نایل آمد و بالاخره گروت ربر مهندسی که «تلسکوپ» رادیویی ساخت خودش را در حیات منزلش کارگذاشت و درگیرودار جنگ جهانی دوم نخستین نقشه رادیویی کهکشان را فراهم آورد، همه منجمانی غیرحرفه‌ای (آماتور) بودند. جذبهٔ نجوم و شوق آشنایی با ستارگان وکهکشان‌ها، همراه با این امید که می‌توان بی‌آن که منجمی حرفه‌ای بودکاری مفید در این علم انجام داد، موجب شده است که پیوسته بر شمار منجمان غیرحرفه‌ای (آماتور) افزوده شود. امروز در بسیاری ازکشورها، انجمن‌های ملی نجوم آماتوری تشکیل شده است. این انجمن‌ها با راهنمایی اهل فن،مقدمات این علم و راه پژوهش و مطالعه را به علاقه‌مندان می‌آموزند و حاصل کار آنان را در اختیار دیگران قرار می‌دهند. طبیعی است که به واسطهٔ امکانات اندک و پیشینهٔ علمی نسبتاً محدود منجم آماتور، حوزهٔ فعالیت‌های وی نیز در قیاس با منجم حرفه‌ای بسیار محدودتر باشد. منجمان غیرحرفه‌ای ورزیده بیشتر به رصدهای سیاره‌ای، مطالعهٔ شهابوارها و شخانه‌ها و بررسی تغییرات نور ستارگان متغیر و چندگانه می‌پردازند.

و اما غرض از ترجمهٔ کتاب حاضر بیشتر آن بوده است که هم به مبتدی مقدمات نجوم را بیاموزد و هم راهنمای کسی باشد که می‌خواهد راه منجمان غیرحرفه‌ای را در پیش گیرد. خواننده در نخستین فصل‌های کتاب با صورت‌های فلکی و ستارگان پرنورتر آن‌ها آشنا می‌شود و چشم او با سیمای آسمان انس می‌گیرد. ولی اگر او علاقه و پشتکار بیشتری داشته باشد (یعنی بخواهد منجمی غیرحرفه‌ای شود) می‌تواند به راهنمایی کتاب (ضمیمه و فصل ۵) دوربین کوچکی بسازد و با آن اعماق آسمان را بکاود: پستی‌ها و بلندی‌های ماه و قمرهای سیارات منظومهٔ شمسی را مشاهده کند، ستارگان رنگارنگ دوتایی و چندتایی را رصدکند و سحابی‌ها و خوشه‌های زیبای کروی را ببیند. فصل‌های بعدی کتاب خواننده را با مقدمات روش‌های فیزیکی نجوم و دانشی که به یاری این روش‌ها به دست آمده است آشنا می‌کند. نخست از ساختمان و سرگذشت ستارگان و ازکهکشان‌ها سخن می‌رود و سپس به خورشید و منظومهٔ شمسی پرداخته می‌شود.

. . . .

در ترجمهٔ این کتاب نکته‌هایی چند ملحوظ شده است که آگاهی خواننده بر آنها بی‌فایده نیست.

آ. در انتخاب نام‌های ستارگان و صورت‌های فلکی، دوکتاب گرانقدر نجوم قدیم به زبان فارسی راهنمای مترجم بوده‌اند. این دوکتاب یکی «کتاب التفهیم لاوائل الصناعة التنجیم» از ابوریحان بیرونی (به تصحیح جلال همایی، از انتشارات انجمن آثار ملی) است و دیگری ترجمهٔ خواجه نصیرالدین طوسی ازکتاب «صور الکواکب الثمانیه و الاربعین» اثر عبدالرحمن صوفی (به تصحیح معزالدین مهدوی، از انتشارات بنیاد فرهنگ). در مواردی نیز به «دایرة المعارف فارسی» (غلامحسین مصاحب،کتاب‌های جیبی) و فرهنگ «المعجم الفلکی» (تألیف فهدالمعلوف، قاهره ۱۹۳۵) مراجعه شده است.

ب. در مورد اصطلاحات نجوم جدید سعی بر آن بوده است که تا حد امکان واژه‌هایی که‌کم و بیش متداول شده‌اند به‌کار برده شود و جز در مواردی معدود از پیشنهاد معادل‌های تازه اجتناب شده است. در نوشتن نام‌های علمی ستارگان از این قاعدهٔ خوب و متداول پیروی شده است که نام صورت فلکی (نه به حالت اضافه که در لاتینی معمول است) به دنبال حرف یونانی یا لاتینی می‌آید، مثلاً α-Ursa Majoris به صورت α- دب اکبر نوشته شده است.

پ. در متن کتاب از ذکر اصطلاحات معادل به زبان انگلیسی خودداری شده است. ولی دو واژه‌نامهٔ فارسی به انگلیسی و

انگلیسی به فارسی در آخر کتاب گذاشته شده است که خواننده می‌تواند در صورت نیاز به آنها مراجعه کند. فهرست راهنما (index) در آخر کتاب خواهد آمد.

ت. مترجم در مواردی که ضروری دانسته است زیرنویس‌هایی بر کتاب افزوده است. این زیرنویس‌ها، خاصه آن‌ها که به سیارات منظومهٔ شمسی مربوط می‌شود، حاوی اطلاعات تازه است (تاریخ آخرین ویرایش متن اصلی که ترجمه از روی آن صورت گرفته، سال ۱۹۷٦ است). علاوه بر این‌ها دو شکل (شکل‌های ۱۲- ۱۰ و ۱۵- ۱۰) و کلیهٔ عکس‌های سیاه و سفید و رنگی کتاب در برگردان فارسی بر متن اصلی افزوده شده‌اند.

ث. به هنگام ترجمه مواردی از سهو و غلط چاپی در متن مشاهده شد که جملگی در کتاب حاضر تصحیح شده‌اند. تصحیحاتی نیز در برخی از اشکال صور فلکی به عمل آمده است. در اینجا بد نیست به خواننده تذکری داده شود. شکل‌هایی که صورت‌های فلکی هر ماه را در نزدیکی نصف‌النهار مکان نشان می‌دهند، چندان دقیق نیستند و به مقیاس رسم نشده‌اند. این اشکال فقط راهنماهایی هستند برای تشخیص صورت‌های فلکی. نقشه جامع‌تری از آسمان در صفحات ۵۸ و ۵۹ کتاب آورده شده است *

رسم مجدد شکل‌های کتاب و صفحه‌آرایی آن کار آقای بهرام پژنگ است. مترجم به نوبهٔ خود از کار دقیق و خوب ایشان تشکر می‌کند. همچنین از آقای نادر حاتمی که پیشنهادها و راهنمایی‌هایشان در مراحل مختلف آماده کردن کتاب برای چاپ بسیار مغتنم بوده است، سپاسگزاری می‌شود. در پایان از آقای سعید بختیاری، مدیر مؤسسهٔ گیتاشناسی که سعی بسیار کردند تا چاپی زیبا از این کتاب ارائه شود، تشکر می‌کنم و توفیق ایشان را در انجام این قبیل خدمات فرهنگی آرزومندم.

م.ر.ح. خواجه پور

تذکر: در این کتاب مراد از بیلیون، هزار میلیون است.

* - این نقشه از کتاب «شناخت مقدماتی ستارگان» (از انتشارات گیتاشناسی) اخذ شده است. بدین وسیله از مترجم و ناشر این کتاب تشکر می‌شود.

تاریخچهٔ نجوم

تاریخ نجوم را می‌توان به سه دوره تقسیم کرد: دورهٔ زمین‌مرکزی، دورهٔ کهکشانی و دورهٔ کیهانی. آغاز دورهٔ اول در تاریخ باستان است و پایان آن در قرن شانزدهم. دورهٔ دوم از قرن هفدهم تا قرن نوزدهم طول کشید و دورهٔ سوم در قرن بیستم آغاز شد و هنوز ادامه دارد.

۱-۰ دورهٔ زمین مرکزی

منجمان نخستین معتقد بودند که زمین باید در مرکز جهان باشد و فرض می‌کردند که خورشید، ماه و ستارگان به دور زمینِ ساکن می‌گردند. علاقهٔ آنان که به معنای امروزی کلمه چندان علمی نبود، به طور عمده معطوف بود به مسائل عملی، به رابطهٔ واقعی یا فرضی رویدادهای آسمانی با حوادث زمینی و به جستجوی آسمان به خاطر یافتن نشانه‌هایی از وقایع سعد و نحس.

با وجود این کشف‌های برجسته‌ای در این دوران صورت پذیرفت. گاهشماری با دقت زیاد رشد کرد. دایرةالبروج - مسیر ظاهری خورشید از میان ستارگان - به دقت تمام تعریف شد. دورهٔ کامل کسوف و خسوف تعیین گردید و حتی در قرن دوم پیش از میلاد به حرکت محور زمین پی برده‌شد.

پایان دورهٔ زمین مرکزی در قرن شانزدهم با شخصیت بزرگ نیکولائوس کوپرنیکوس [1] (۱۵۴۳-۱۴۷۳) پیوندی نزدیک دارد.

۲-۰ دورهٔ کهکشانی

می‌توان گفت که نجوم جدید با این دوره آغاز می‌شود. کوپرنیکوس نشان داد که زمین، نه تنها مرکز جهان نیست، بلکه فقط یکی از سیاراتی است که به دور خورشیدِ مرکزی می‌گردد. معلوم شد که زمین، که به هیچ روی منحصر به فرد

1- Nicolaus Copernicus

نیست، سیاره‌ای کاملاً معمولی است که به طرزی معمولی، حرکاتی معمولی دارد.

در حقیقت آشکار شد که خورشیدِ مرکزی خود ستاره‌ای از ستاره‌های بی‌شمار آسمان است، یکی از بیلیون‌ها ستارهٔ همانند دور و بر ما است که برخی بزرگ‌تر و بعضی کوچک‌تر از خورشید، برخی سنگین‌تر و بعضی سبک‌تر از آن اند.

در این دوره روش مطالعهٔ نجوم، پیوسته علمی‌تر شد و انگیزهٔ اصلی آن میل به شناخت و فهم قوانین بنیادی حاکم بر حرکت اجرام آسمانی و توضیح چیزهایی بود که بشر به چشم می‌دید.

پیشرفتی که از قرن شانزدهم تا پایان قرن نوزدهم صورت گرفت، نتیجهٔ تلفیق کارآمدی بود از رصدهای پردامنه، وسایل پیشرفته و کار نبوغ‌آمیز علمی.

رصدها. اطلاعات وسیعی که اهمیت بنیادی داشت، با کار سخت رصد کنندگان دقیق، که نام بزرگ تیخوبرائه [1] (۱۶۰۱-۱۵۴۶) در صدر آنان است، جمع‌آوری شد.

وسایل. البته ورود تلسکوپ به ساحت نجوم توسط گالیلئو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴ میلادی) [2] در ۱۶۱۰، نشانهٔ مرحلهٔ مهمی در تکامل علم نجوم به شمار می‌رود، همان طور که اختراع بعدی طیف‌نما نیز چنین بود. این دو وسیله مکمل یکدیگر بودند: تلسکوپ رؤیت ستارگان را با وضوحی بیشتر ممکن می‌سازد، طیف‌نما نور ستارگان را تجزیه می‌کند و اطلاعاتی دربارهٔ ستارگان در اختیار ما می‌گذارد.

نبوغ. نجوم نیز مانند هر علم دیگر برای پیشرفت خود نیازمند تلاش مغزهای بزرگی است که بتوانند بینش، تخیل، شهود و نیز دانش زیاد را بر اطلاعات رصدی تطبیق دهند. یوهانس کپلر [3] (۱۶۳۰ - ۱۵۷۱) و سر ایزاک نیوتون [4] (۱۷۲۷-۱۶۴۲)، کپلر با کشف قوانین حرکت سیارات و نیوتون با کشف قانون گرانش عمومی، در زمرهٔ این اندیشمندان بودند.

۳-۰ دورهٔ کیهانی

در این دوره آشکار شد که کهکشان ستاره‌هایی که خورشید ما به آن تعلق دارد فقط یکی از کهکشان‌های بسیاری است که برخی بزرگ‌تر از کهکشان ما و

1- Tycho Brahe
2- Galileo Galilei
3- Johanness Kepler
4- Sir Isaac Newton

بعضی کوچک‌تر اند. بخش زیادی از تحقیقات نجومی یک قرن اخیر به این کوشش اختصاص داشته است که تصویری «کامل» از جهان به دست آوریم. تلسکوپ‌های نوری بزرگ‌تر و نیز تلسکوپ‌های رادیویی عظیم برای کمک به این تحقیقات ساخته شده‌اند.

نابغهٔ نظری بزرگی که در ذهن عامهٔ مردم بیش از همه با این دوره ارتباط داده می‌شود، دکتر آلبرت اینشتاین فقید (۱۹۵۵-۱۸۷۹) است (هرچند که او در درجهٔ اول یک فیزیک‌دان و ریاضی‌دان بود). کیهان‌شناسی و اخترفیزیک سخت به نظریهٔ نسبیت او متکی اند.

در این دورهٔ نجومی است که ما زندگی می‌کنیم و تا پایان آن راه درازی در پیش است.

فصل ۱

جهان

قسمت اول: اجزاء تشکیل‌دهندهٔ جهان

۱-۱ مقدمه و تعاریف

از زمانی که بشر از خود و از جهانی که در آن سکنی دارد آگاه شده است، آسمان را با ترس و شگفتی، منبع جذبه‌ای پایدار و افسون کننده دانسته است. ترس و شگفتی، مطالعه و علم را سبب می‌شود. بشر که بی‌وقفه در تلاش فائق آمدن بر جهل و حل اسرار بود، سرانجام علم نجوم را پدید آورد.

نجوم علم مواضع، حرکات، ساختمان‌ها، سرگذشت‌ها و سرنوشت‌های اجرام آسمانی است. نجوم در سیر تحول خود به عنوان یک علم، بسیاری از قوانین بنیادی حاکم بر این اجرام را کشف کرده است. اما در ماهیت پژوهش علمی است که کار آن هرگز پایان نپذیرد و در اینجا نیز چون علوم دیگر، تلاش‌های بسیار به‌جا مانده‌است که باید انجام شود.

۱-۲ چرا به مطالعهٔ نجوم می‌پردازیم؟

نجوم را مطالعه می‌کنیم زیرا که اندیشهٔ جستجوگرِ هوشمند باید سؤال کند و به جستجوی پاسخ برآید، باید «چرا؟» را بداند و «چگونه؟» را دریابد و بشر از همان آغاز هر وقت که به بالا نظر افکنده است، آسمان را دیده است که همیشه با مسائلی ظاهراً ناسنجیدنی در برابرش قرار داشته و همواره او را برای حل اسرارش به چالش طلبیده است.

بشر در یک مرحله، واکنش خود را به صورت جادو و اسطوره بیان کرد و این واکنش در هنر، ادبیات و ادیان جهانی تجلی یافت. او در مرحله‌ای دیگر کوشید تا برای پدیده‌های آسمانی، که آن‌ها را به مدد حواسش درمی‌یافت، توضیحی علمی فراهم آورد و این توضیحات موضوع علم نجوم اند.

۱-۳ اجزاء تشکیل‌دهنده

زمینی که بر آن زندگی می‌کنیم یک سیاره است - یکی از چند سیاره‌ای که به دور خورشید می‌گردند. چشم برهنه می‌تواند خورشید، چند سیاره، یک قمر (ماه)، چند هزار ستاره، تیرهای شهاب (شخانه‌ها) و گهگاه ستاره‌ای دنباله‌دار را رؤیت کند.

این اجرام آسمانی، اجزائی هستند که عـالـم را تشکیل می‌دهند، کم و بیش بـه هـمان صـورتی کـه خـانه‌ها، مسـاجد، بـیمارستان‌ها و گـردشگاه‌ها اجـزاء تشکیل‌دهندهٔ یک محله اند.

تا جایی که دانش ما اجازه می‌دهد، عالـم از سـتاره‌ها (بـیلیون‌ها بـیلیون ستاره)، سحابی‌ها، سیارات، سیارک‌ها، اقمار، ستاره‌های دنباله‌دار و غـیره تشکیل شده است.

۱-۴ ستارگان

ستاره‌ها گوی‌های بزرگی از گاز بسـیار گـرم انـد کـه بـه واسـطهٔ نـورشان می‌درخشند. دمای آنها در سطح، هزاران درجه و در داخل، بسیار بیشتر است.

در این دماها، ماده نمی‌تواند به صورت‌های جامد یا مایع وجود داشته باشد. گازهایی که ستاره‌ها را می‌سازند، بسیار غلیظ‌تر از گازهایی است که معمولاً بر سطح زمین وجود دارد. چگالی فوق‌العاده زیاد این گازها معلول فشارهای عظیمِ داخل ستاره‌ها است.

ستاره‌ها در فضا حرکت می‌کنند، اما حرکت آن‌ها به‌آسانی مشهود نیست. در طول یک سال رد هیچ تغییری را در وضعیت نسبی آن‌ها نمی‌توان یافت. حتی در هزار سال نیز حرکت قابل ملاحظه‌ای در آن‌ها مشهود نمی‌افتد. نقش و الگوی آن‌ها در حال حاضر کم و بیش دقیقاً همان است که هزار سال پیش بود. این ثبات، پیامد فاصلهٔ عظیمی است که میان ما و آن‌هـا وجـود دارد. بـا ایـن فواصل، چندین هزار سال طول می‌کشد که تغییر قابل مـلاحظه‌ای در نـقش ستاره‌ها پدید آید؛ این ثبات ظاهریِ مکانِ ستاره‌ها موجب شده است که نام متداول «ثوابت» به آن‌ها اطلاق شود.

۱-۵ سحابی‌ها

سحابی، ابر وسیعی متشکل از غبار و گاز است. گازهایی که آن را تشکـیل می‌دهند بسیار رقیق و در دمایی کم اند. سحابی‌ها به علت نور خود نمی‌تابند بلکه بر اثر نور ستارگان مجاور قابل رؤیت اند. در صورتی که به این ترتیب

مرئی شده باشند، به ستاره‌ای محو و ابری می‌مانند. ولی به اندازه و ساختمان واقعی آن‌ها فقط به کمک تلسکوپ می‌توان پی‌برد. سحابی‌های دیگر، تاریک اند و مانع نور ستارگانی می‌شوند که پشت آن‌ها قرار دارند.

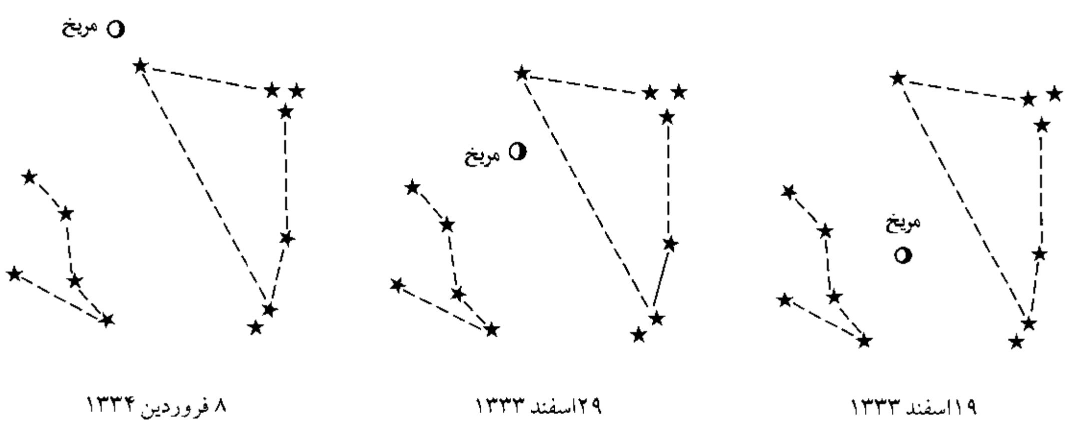
۶-۱ سیارات

سیارات اجرام تقریباً کروی جامد و بزرگی هستند که به دور خورشید می‌گردند. البته سیاره‌ای که بهتر از همه می‌شناسیم، زمین خودمان است. همهٔ سیارات نسبتاً سرد اند و بازتاب نور خورشید آن‌ها را مرئی می‌کند؛ بعضی از آن‌ها را می‌توان هر چند وقت یک بار با چشم برهنه دید. ولی سه سیاره را فقط به کمک تلسکوپ می‌توان مشاهده کرد. در نظر اول، سیارات هم مانند انبوه ستاره‌هایی اند که در آسمان می‌درخشند، ولی یک ناظر می‌تواند به کمک یکی از مشخصات زیرین، یا بیشتر، سیاره را تشخیص دهد.

آ. سیارات با نوری پایدار می‌درخشند، در حالی که در مورد ستاره‌ها چنین نیست. نوری که از ستاره‌ها به چشمان ما می‌رسد، به نظر می‌آید که هم از نظر رنگ و هم از نظر روشنی، به سرعت تغییر می‌کند. این تغییرات رنگ و روشنی همان چشمک زدن ستاره‌ها است.

ب. سیارات آسمان را سیر می‌کنند. سیاره‌ای که زمانی نزدیک ستاره‌ای بوده ممکن است بعداً در نزدیکی ستاره‌ای دیگر مشاهده شود. از طرف دیگر ستاره‌ها نسبت به یکدیگر ظاهراً مواضع ثابتی را اشغال می‌کنند. به شکل ۶-۱ نگاه کنید. واژه سیاره خود به معنی «سیرکننده» است.

شکل ۶-۱ شکل گوشه‌ای از آسمان در سه زمان مختلف. ۱۹ اسفند ۱۳۳۳، ۲۹اسفند ۱۳۳۳ و ۸فروردین ۱۳۳۴. توجه کنید که ستاره‌ها وضع نسبی ثابتی را حفظ کرده‌اند. سیاره (مریخ) در این مدت، مقدار قابل ملاحظه‌ای حرکت کرده است.



پ. سیارات در تلسکوپ، به صورت قرص‌های کوچک نورانی اند. هرچه بزرگ‌نمایی تلسکوپ بیشتر باشد، قطر قرص بزرگ‌تر است. ستاره‌ها، حتی با بزرگ‌ترین تلسکوپ‌های موجود هم فقط به صورت نقاط نورانی به‌نظر می‌رسند. حتی با تلسکوپ پنج متری هم به صورت نقاطی که قطر قابل سنجشی ندارند به چشم می‌آیند.

ت. سیارات را فقط می‌توان در نوار باریکی در آسمان دید. حرکات آن‌ها به مرزهای این نوار محدود است. البته ستاره‌ها را می‌توان در هر قسمتی از آسمان یافت.

۱-۷ سیارک‌ها

سیارک‌ها اجرام جامد کوچکی با شکل‌های نامنظم اند که مانند سیارات بزرگ به دور خورشید می‌گردند و تفاوت عمدهٔ آن‌ها با سیارات در اندازهٔ آن‌ها است. آن‌ها را به نام ستارگان صغار یا سیارات خرد نیز می‌شناسند. سرس[1] بزرگ‌ترین سیارک، قطری برابر با ۸۰۰ کیلومتر دارد، اما قطر بسیاری از آن‌ها فقط حدود سه کیلومتر است. نخستین سیارک در اول ژانویهٔ ۱۸۰۱ کشف شد. از آن پس تعداد زیادی از آن‌ها کشف شده‌اند. تخمین زده می‌شود که با یک تلسکوپ بزرگ می‌توان از بیش از ۱۰۰،۰۰۰ سیارک عکسبرداری کرد.

سیارک‌ها نیز با انعکاس نور آفتاب می‌درخشند، ولی چون سطحشان کوچک است، مقدار نور منعکس شده بسیار اندک است. سیارک‌ها را بدون تلسکوپ نمی‌توان دید.

۱-۸ اقمار

هفت سیاره از نه سیارهٔ بزرگ هرکدام یک یا چند ماه دارند که به دور آن‌ها می‌گردند. این‌ها اقمار نامیده می‌شوند. زمین فقط یک ماه (قمر) دارد، در حالی که مثلاً سیارهٔ مشتری بیش از شصت ماه دارد †.

تا سال ۲۰۰۴ میلادی بیش از هشتاد قمر برای سیارات منظومهٔ شمسی کشف شده بود.

1- Ceres

† هرساله با کشف خرده قمرهای جدید بر شمار اقمار سیارات بزرگ افزوده می‌شود. بسیاری از این قمرها سیارک‌های به دام افتاده‌اند.م.

۱-۹ ستاره‌های دنباله‌دار (ذوذنب)

ستاره‌های دنباله‌دار یا دنباله‌دارها اجرامی آسمانی با شکل منحصر به فرد و اندازهٔ بزرگ اند که گهگاه ظاهر می‌شوند. یک ستارهٔ دنباله‌دار نمونه تشکیل شده است از یک کرهٔ نورانی یا رأس که به استوانه‌ای رقیق و دراز به نام دنباله (ذنب) متصل است. رأس ممکن است به بزرگی خورشید به نظر آید و دنباله قوسی را در آسمان رسم می‌کند.

دنباله‌دار که به چشم برهنه چون ماه بی‌حرکت به نظر می‌آید، در واقع با سرعت صدها کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند. سرعت دقیق آن را می‌توان از روی تغییر مکان آن نسبت به ستارگان ثابت تعیین کرد.

بیش از هزار دنباله‌دار شناخته شده است و هر ساله نیز چندین دنباله‌دار جدید کشف می‌شود.

اکثریت عظیم آن‌ها به قدری کم‌نور اند که به چشم برهنه مرئی نیستند. ستاره‌های دنباله‌دار نسبتاً بزرگ، نادر اند. این‌ها، به طور متوسط یکی دو بار در طول یک عمر پدیدار می‌شوند.

از بیش از هزار دنباله‌دار شناخته شده در حدود ۲۶۰ تا در «مدارهای بسته» یعنی در مسیرهایی کم و بیش کشیده و سیگارمانند، حرکت می‌کنند. این واقعیت که مداری بسته است، یعنی اول و آخری ندارد، دارای اهمیت زیادی است. دنباله‌دارهایی که چنین مدارهایی را می‌پیمایند پیوسته مسیر واحدی را دور می‌زنند. بسیاری از آن‌ها چندین بار به نزدیکی زمین بازگشته‌اند و مشاهده شده‌اند.

مدارهای صدها ستارهٔ دنباله‌دار دیگر یا سهمی است یا هذلولی. به احتمال زیاد، این‌ها فقط یک بار در نزدیکی زمین ظاهر می‌شوند، از فضای خارج می‌آیند، دور می‌زنند و سپس می‌روند و دیگر هم دیده نخواهند شد.

۱-۱۰ شهابوارها

شهابوارها معمولاً اجسام جامد ریزی (به اندازهٔ ته سنجاق) اند که در فضا حرکت می‌کنند. گهگاه گروهی از شهابوارها جذب زمین شده به دام جو زمین می‌افتند. گرمایی که در این برخورد ایجاد می‌شود جسم را می‌سوزاند؛ غبار حاصل از این سوختن به زمین سقوط می‌کند. هر ساله صدها تن غبار شخانه‌ای بر سطح زمین می‌نشیند. در موارد نادر شهابوارهای بزرگتر، قبل از آن که کاملاً بسوزند، به سطح زمین می‌رسند. پدیدهٔ نوری ای که از ورود شهابوار به جو زمین نتیجه می‌شود شخانه یا «تیر شهاب» نامیده می‌شود که درخشش آن ممکن

است چند ثانیه دوام آورد.

قسمت دوم: نقش جهان

۱-۱۱ مقدمه

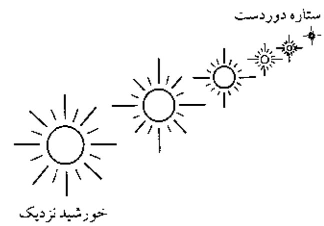
جهان مرکب از ستاره‌ها، سحابی‌ها، سیارات، ستاره‌های دنباله‌دار و اجرام آسمانی دیگر است. این اجزاء جمع آمده‌اند تا نقش جهان را رقم زنند.

سیارات، سیارک‌ها، اقمار، ستارگان دنباله‌دار، شهابسنگ‌ها به دور ستارهٔ منفردی می‌گردند: ستاره‌ای که خورشید می‌نامیم. این‌ها همه با هم منظومهٔ شمسی را تشکیل می‌دهند. خورشید و بیلیون‌ها ستارهٔ دیگر اجتماعی از ستارگان را پدید می‌آورند که کهکشانِ ما یا راه کاهکشان † نامیده می‌شود. جهان بسیاری از این کهکشان‌ها یا اجتماعات ستاره‌ای را شامل می‌شود.

فاصلهٔ ستارگان از یکدیگر از مرتبهٔ بزرگی‌ای است کاملاً متفاوت با فواصل سیاره‌ای: اولی بسی بزرگ‌تر از دومی است.

فواصل میان کهکشان‌ها بسیار بزرگ‌تر از فواصل بین ستاره‌ها است. اگر بخواهیم درکی از این فاصله‌های عظیم به دست آوریم، لازم است که مقیاسی به کار بریم. طرح جهان را، با چنین مقیاسی، بعداً در همین قسمت ارائه خواهیم کرد.

شکل (آ) ۱۲-۱ خورشید خود ستاره‌ای معمولی است. همهٔ ستارگان دیگر از آن رو خرد به نظر می‌رسند که بسیار دور اند و ما آن‌ها را فقط به صورت نقاطی نورانی می‌بینیم.

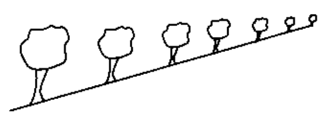


۱-۱۲ خورشید

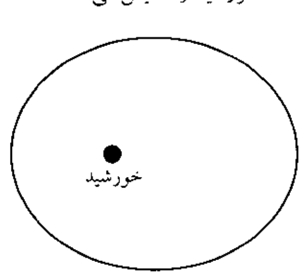
خورشید، ستاره‌ای معمولی، شبیه ستاره‌های بی‌شمار دیگری است که در آسمان می‌بینیم، هر چند که ممکن است چنین به‌نظر نرسد.

خورشید به‌نظر ما بزرگ می‌آید زیرا نسبتاً به ما نزدیک است. همهٔ ستاره‌های دیگر چون نقاط کوچک نورانی در آسمان به‌نظر می‌آیند زیرا بسیار دور اند. شکل‌های (آ) ۱۲-۱ و (ب) ۱۲-۱ را نگاه کنید. دلیل توجه ما به این ستاره (خورشید) آن است که زمین گرمی و نور، یعنی انرژی‌ای را که برای بقای حیات اهمیت اساسی دارد از آن کسب می‌کند. در شکل (پ) ۱۲-۱ منحنی تخم‌مرغی شکل نمایشگر جهان است و نقطه، خورشید را در جهان نشان می‌دهد (باید توجه داشت که شکل (پ) ۱۲-۱ و نیز شکل‌های ۱۴-۱ و ۱۶-۱ و ۱۷-۱ تصویرهای نمادی است و شکل‌هایی نیست که

شکل (ب) ۱۲-۱ اشیاء دیگر نیز با افزایش فاصله‌شان، کوچک‌تر به نظر می‌رسند. به اندازهٔ ظاهری دورترین درخت توجه کنید.



شکل (پ) ۱۲-۱ منحنی تخم‌مرغی شکل نمایشگر پیرامون جهان است. نقطه مکان خورشید را نمایش می‌دهد.



† نام متداول دیگر، راه شیری است که ترجمهٔ تحت‌اللفظی Milky Way انگلیسی است. م.

به مقیاس کشیده شده باشد).

۱-۱۳ سیارات

نه سیاره وجود دارد که به دور خورشید می‌گردند: عطارد، زهره، زمین، مریخ، مشتری، زحل، اورانوس، نپتون و پلوتون. عطارد از همه به خورشید نزدیک‌تر است، سپس به فاصله‌ای دورتر زهره جای دارد، بعد از زهره زمین است و دورترین سیارهٔ شناخته شده از خورشید، پلوتون است.

فاصلهٔ زمین از خورشید ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. این فاصله را عموماً یک واحد نجومی می‌نامند. فاصلهٔ عطارد از خورشید فقط چهار دهم فاصلهٔ زمین از خورشید است. پلوتون، دورترین سیاره، ۴۰ برابر زمین از خورشید فاصله دارد. فاصلهٔ پلوتون را می‌توان به صورت ۴۰ برابر ۱۵۰ میلیون کیلومتر یا به سادگی، چهل واحد نجومی بیان کرد.

مقیاس کوچک شده‌ای ممکن است به تصور این فواصل کمک کند. در مقیاسی که معمولاً به کار می‌رود، فاصلهٔ زمین تا خورشید را به طولی برابر یک متر نمایش می‌دهند:

۱۵۰ میلیون کیلومتر معادل یک متر؛ یا،

۱ واحد نجومی معادل است با یک متر.

با این مقیاس، عطارد در چهل سانتیمتری، زهره در هفتاد سانتیمتری و زمین در یک متری خورشید است. دورترین سیاره در چهل متری خورشید قرار دارد. جعبه‌ای دایره‌ای شکل به شعاع چهل متر همهٔ سیارات را در خود جا می‌دهد. ارتفاع این جعبه بسیار کم است زیرا همهٔ سیارات تقریباً در صفحهٔ واحدی حرکت می‌کنند.

۱-۱۴ منظومهٔ شمسی

خورشید و سیارات، اجزای اصلی منظومهٔ شمسی اند. اعضای دیگر این منظومه عبارت اند از:

۱- مجموعه‌ای از سیارات کوچک‌تر که سیارک‌ها نامیده می‌شوند،

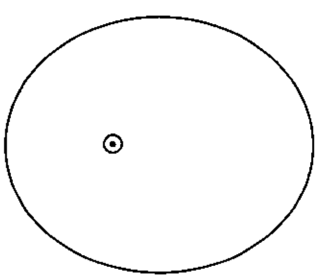
۲- چندین ماه که به اقمار مشهور اند و به دور هفت تا از این سیارات می‌گردند،

۳- ستاره‌های دنباله‌دار که گهگاه ظاهر می‌شوند،

۴- تعداد بسیار زیادی شهابوار،

در شکل ۱۴-۱، دایره‌ای که به دور نقطه رسم شده، نمایشگر تمامی

شکل ۱۴-۱ منحنی تخم‌مرغی نمایندهٔ پیرامون جهان است، نقطه و دایرهٔ کوچک به ترتیب نمایندهٔ خورشید و منظومهٔ شمسی اند.



منظومهٔ شمسی است.

۱-۱۵ ستارگان

فواصل میان ستاره‌ها بسی بیشتر از فواصل میان سیارات است. حتی نزدیک‌ترین ستاره به خورشید در فاصلهٔ ۲۷۰،۰۰۰ واحد نجومی است. با استفاده از مقیاس پیشین (که در آن یک متر به جای یک واحد نجومی یا ۱۵۰ میلیون کیلومتر گرفته شد) نزدیک‌ترین ستاره به خورشید در فاصلهٔ دویست و هفتاد کیلومتری خواهد بود.

به این دو واحد باید با دقت بیشتری توجه کرد. فواصل میان سیارات بر حسب متر بیان شد در حالی که فاصلهٔ میان ستاره‌ها بر حسب کیلومتر. تصویری ذهنی ممکن است به تصور این تفاوت کمک کند. خورشید و همهٔ سیارات را می‌توان در خانه‌ای دایره‌شکل به شعاع چهل متر جای داد. نزدیک‌ترین ستاره در مقیاس ما در خانه‌ای است که ۲۷۰ کیلومتر از ما فاصله دارد. فاصلهٔ ستاره‌های دیگر نیز در این مقیاس، هزارها و صدها هزار کیلومتر از خورشید است.

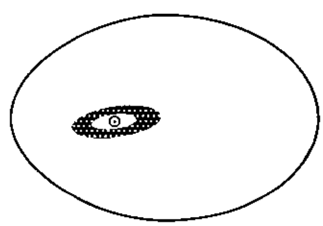
۱-۱۶ کهکشان ما

این ستاره‌ها اجتماع بزرگی را تشکیل می‌دهند که کهکشان ما یا راه کاهکشان خوانده می‌شود. حدس زده می‌شود که تعداد ستارگان کهکشان ما حدود یک صد بیلیون- به بیان دیگر $10^{9}\times100$ یا یک صد هزار میلیون باشد.

سطح بیرونی کهکشان را اغلب به سنگ آسیا یا به عدسی تشبیه می‌کنند. منظرهٔ کهکشان از بالا شکل مستدیر و نقش مارپیچی آن را که متشکل از ستاره‌ها است آشکار می‌سازد. منظرهٔ آن از پهلو مشابهت آن را با یک عدسی نشان می‌دهد یعنی در مرکز ضخیم و در لبه‌ها نازک است.

اگر مقیاس یک متری را بار دیگر به کار بریم، قطر دایرهٔ کهکشان ما بالغ بر ۵ میلیون کیلومتر و حداکثر ضخامت آن فقط در حدود یک ششم قطر است. کهکشان ما در شکل ۱۶-۱ نموده شده است.

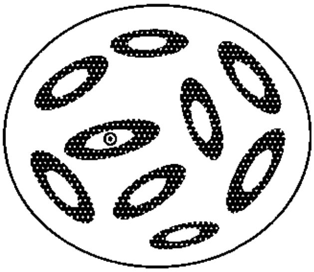
شکل ۱۶-۱ منحنی تخم‌مرغی نمایندهٔ پیرامون جهان است. کهکشان ما در داخل جهان مشخص شده است. نقطه و دایرهٔ کوچک به ترتیب خورشید و منظومهٔ شمسی را نشان می‌دهند.



۱-۱۷ کهکشان‌های دیگر

کهکشان ما تنها کهکشان موجود در جهان نیست، کهکشان‌های بسیار در سال‌های اخیر کشف شده‌اند که شباهت بسیار به کهکشان ما دارند. فاصلهٔ میان آن‌ها در مقیاس ما، بین پنجاه تا صد میلیون کیلومتر است. تصویر بسیار ساده

شده‌ای از جهان در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۷-۱ «تمام» جهان از تعداد زیادی کهکشان تشکیل شده است، کهکشانی که خورشید را شامل می‌شود به کهکشان‌ما، راه شیری، یا راه کاهکشان موسوم است.

۱-۱۸ خلاصه

پس جهان از بیلیون‌ها کهکشان تشکیل شده است که هریک بیلیون‌ها ستاره را دربر می‌گیرد. یکی از این ستاره‌ها، خورشید، ستاره‌ای است که زمین و سیارات دیگر منظومهٔ شمسی به دور آن می‌گردند.

۱-۱۹ طرح عالم بر حسب مقیاس فواصل واقعی

فاصلهٔ ما تاخورشید ۱۵۰ میلیون کیلومتر است، فاصلهٔ ما تا نزدیک‌ترین ستاره، آلفای قنطورس، ۴۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر یا چهل میلیون میلیون کیلومتر است. ستاره‌های دوردست بسی دورتر اند.

وقتی سروکار ما با فواصل ستاره‌ها و کهکشان‌ها است، واحد کیلومتر کاربردی ندارد. به جای آن منجمان واحد «سال نوری» را به کار می‌برند: یک سال نوری فاصله‌ای است که یک شعاع نور در مدت یک سال می‌پیماید. فاصله‌ای که توسط شعاع نور در یک ثانیه پیموده می‌شود ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر است، پس؛

$$\text{یک سال نوری} = 300{,}000 \times 60\left(\frac{\text{ثانیه}}{\text{دقیقه}}\right) \times 60\left(\frac{\text{دقیقه}}{\text{ساعت}}\right) \times 24\left(\frac{\text{ساعت}}{\text{روز}}\right) \times 365\frac{1}{4}$$

$$= 9{,}470{,}000{,}000{,}000 \ \text{کیلومتر}$$

یا تقریباً ده میلیون میلیون کیلومتر.

نزدیک‌ترین ستاره به منظومهٔ شمسی، ۴٫۳ سال نوری با آن فاصله دارد. قطر کهکشان ما تقریباً ۱۰۰،۰۰۰ سال نوری است و حداکثر ضخامت آن ۱۵،۰۰۰ سال نوری. فاصلهٔ متوسط بین کهکشان‌ها تقریباً یک میلیون سال نوری است.

فاصلهٔ خورشید از ما کسر بسیار کوچکی از یک سال نوری است. فاصلهٔ زمین تا خورشید را می‌توان به صورت ۸ دقیقهٔ نوری بیان کرد.

فواصل میان اجرام آسمانی، وقتی بر حسب نور بیان شوند، معنی دیگری هم دارد: این فاصله در مورد خورشید حاکی از آن است که ۸ دقیقه طول می‌کشد تا شعاع نور از خورشید به زمین برسد.

همین طور در مورد ستارگان، شعاع نوری که آلفای قنطورس را ترک می‌کند پس از $4\frac{1}{3}$ سال به زمین می‌رسد.

دورترین شیئی که با چشم برهنه دیده می‌شود، کهکشان امراةالمسلسله

است که دو میلیون سال نوری از ما فاصله دارد. نوری که به چشم ناظر وارد می‌شود این مدت را در راه بوده است.

۱-۲۰ تاریخچهٔ جهان

قابل‌دفاع‌ترین نظریه‌ای که تا امروز در بارهٔ سرگذشت عالم داده شده‌است نظریهٔ مشهور به مهبانگ یا «انفجار بزرگ» است. مطابق این نظریه همهٔ ماده و انرژی‌ای که در حال حاضر در جهان وجود دارد، زمانی در گوی کوچک، بی‌نهایت سوزان و بی‌اندازه چگالی متمرکز بوده است.

آن گاه در حدود پانزده بیلیون سال پیش یا بیشتر، این گوی منفجر شد (انفجار بزرگ!) و طوفان‌هایی از گاز عمدتاً متشکل از پروتون، نوترون، الکترون و مقداری ذره آلفا را که در اقیانوس وسیعی از اشعه غوطه‌ور بودند، به فضا فرستاد.

با گذشت زمان در این گاز متلاطم، تجمع ماده صورت پذیرفت و هر تجمعی در حالی که همراه با جهان انبساط یابنده حرکت می‌کرد بر اثر میدان گرانشی خود منقبض می‌شد.

این تجمع‌های گاز (که سحابی نامیده می‌شوند) چون به حباب‌های جسیمی تقسیم شدند که پیش - ستاره‌ها (توده‌هایی از گاز که با گذشت زمان بایستی به ستاره تبدیل می‌شدند)بودند، کهکشان‌ها را به وجود آوردند.

بسیاری از این پیش - ستاره‌ها، در حالی که تحت تأثیر نیروهای گرانشی و گریز از مرکز خود کوچک و پهن می‌شدند، ناپایدار شدند و موجب گردیدند که توده‌های کوچک‌تر گاز از آن‌ها جدا شوند و پیش - سیاره‌ها را تشکیل دهند و پیش - سیاره‌ها نیز به نوبهٔ خود پیش - قمرها را به وجود آورند.

سرانجام پیش - ستاره‌ها، ستاره شدند، پیش - سیاره‌ها و پیش - قمرها نیز پس از آن که سرد، متراکم و منقبض شدند به صورت سیارات و اقمار درآمدند.

تا جایی که می‌دانیم گذار از مرحله پیش - ستاره‌ای به ستاره در مورد خورشید پنج بیلیون سال پیش صورت گرفت. سیارات و اقمار منظومهٔ شمسی نیز اندک زمانی بعد تشکیل شدند.

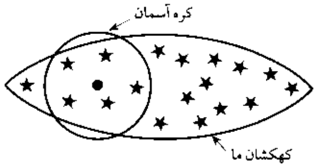
۱-۲۱ چشم برهنه چه می‌بیند؟

چشم برهنه، در یک شب صاف و دور از نور چراغ‌های شهر، چیزهای زیر را می‌تواند ببیند:

آ. حدود ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ ستاره در هر نیمکرهٔ آسمان. برخی از این ستاره‌ها فقط چند سال نوری از ما فاصله دارند و برخی دیگر چند صد سال نوری.

گوشزد: به چشم آدمی همهٔ این ستاره‌ها به یک فاصله می‌آیند و بد نیست تصور کنیم که همهٔ آن‌ها بر کرهٔ خیالی بزرگی چسبیده اند که کرهٔ آسمان نامیده می‌شود. به شکل (آ)۲۱-۱ نگاه کنید.

شکل (آ) ۲۱-۱ کرهٔ آسمان پردهٔ کروی خیالی‌ای است که ناظر در مرکز آن قرار دارد و ستارگان و اجرام سماوی دیگر را بر آن «می‌بینند».



ب. چند سیاره که در میان ستارگان می‌گردند و هر سیاره، سرعت خاص خود را دارد.

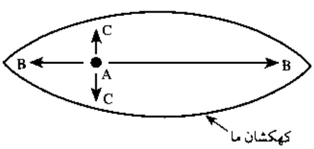
پ. پنج تا ده تیر شهاب در هر ساعت که هریک آسمان را مـی‌نوردد و برای لحظه‌ای چند به دنبال خود تیری از نور به جا می‌گذارد.

ت. ستاره‌های دنباله‌دار واقعاً پرنور، یکی دوبار در طول یک عمر.

ث. سحابی‌ها مانند سحابی گسیلشی بزرگ صورت جبار یا سحابی تاریک سر اسب (بازهم در صورت جبار).

ج. راه کاهکشان، کمربندی نامنظم که نوار نورانی کاملی را بر سطح کرهٔ آسمان رسم می‌کند. عرض آن از 5° تا 50° تغییر می‌کند. نور آن محصول تابش مرکب بیلیون‌ها ستاره در امتداد بُعد طویل کهکشانِ پهن شدهٔ مـا است (خطوط AB در شکل (ب) ۲۱-۱). این نوار نورانی از تاریکی نسبی (به علت قلت تعداد ستارگان) در امتداد بُعد باریک کهکشان (خطوط AC) کاملاً متمایز است.

شکل (ب) ۲۱-۱ ناظری در نقطهٔ A نور مرکب بیلیون‌ها ستاره را در امتداد خط AB مـی‌بیند. ایـن راه کـاهکشان را بـه وجود مـی‌آورد. در امتداد خط AC ستارگان بسیار کمتری وجود دارد و در نتیجه این امتداد نسبتاً تاریک‌تر است.



چ. کهکشان‌های دیگر، مانند کهکشان صورت امراة‌المسلسله که آن را در عرض‌های جغرافیایی شمالی می‌توان دید و دو کهکشان معروف بـه ابـرهای ماژلان در عرض‌های جنوبی.

فصل ۲

رصد ستارگان، بدون تلسکوپ

قسمت اول: دب اکبر

۱-۲ مقدمه

نجوم یکی از چند علمی است که به مطالعهٔ طبیعت می‌پردازد. بی آن که از وسیله‌ای استفاده شود، چیزهای بسیاری را می‌توان فرا گرفت و به اکتشافات مهمی هنوز می‌توان دست یافت. آسمان، آزمایشگاه نجوم است و موقع کار، هر شبی که صاف و شفاف باشد. محل کار در هوای باز، و بهتر آن که دور از نور چراغ‌های شهر، جایی که دید آسمان را چیزی مانع نشود.

ستاره‌های پرنورتر، به صورت گروه‌هایی بر کرهٔ آسمان به چشم می‌آیند که صورت‌های فلکی نامیده می‌شوند. نام‌های چهل و هشت صورت فلکی در فهرستی که یکصد و پنجاه سال بعد از میلاد فراهم شده، آمده است.

پیشینیان که یا تصویر خدایان، قهرمانان و جانوران و غیره را در این گروه‌ها تصور می‌کردند و یا به این وسیله می‌خواستند به خدایان و قهرمانان و جانوران و غیره احترام بگذارند، نام آنان را بر این صورت‌های فلکی نهادند.

نجوم جدید، هشتاد و هشت صورت فلکی را می‌شناسد که هریک حدود و ثغوری کاملاً معین دارد و به نامی موسوم است که بدواً به آن داده شده است. این هشتاد و هشت منطقه، کرهٔ آسمان را به طور کامل می‌پوشاند.

گوشزد: اجرام سماوی‌ای که بیرون از کهکشان ما قرار دارند نیز با صورت فلکی‌ای که در آن اند مشخص می‌شوند. از اینجا است نام‌هایی چون «کهکشان امراةالمسلسله» یا «کهکشان دب اکبر».

در این فصل با توجهی خاص، به حدود سی صورت فلکی مشهور، نظیر

جبار، دب‌های اکبر و اصغر، ذات‌الکرسی و غیره خواهیم پرداخت و از گروهی آغاز خواهیم کرد که احتمالاً آسان‌تر از همه تشخیص داده می‌شود، یعنی دب اکبر(آب‌گردان). همان طور که از لقبش برمی‌آید ستاره‌های آن آب‌گردانی را تصویر می‌کنند. آشنایی با این دسته از ستاره‌ها مهم است، زیرا که مکان صورت‌های فلکی دیگر، اغلب اوقات با مراجعه به آن تعیین می‌شود. دب اکبر را در هر شب صاف در اکثر نقاط نیمکرهٔ شمالی می‌توان دید. در این قسمت، بیش از هر چیز دیگر به ستاره‌های این صورت فلکی می‌پردازیم.

۲-۲ ستاره‌های دب اکبر

شکل ۲-۲ دبّ اکبر



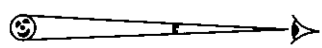
هفت ستارهٔ پرنور، نقش دب اکبر(آب‌گردان یا ملاقه)† را پدید می‌آورند. چهار ستاره که «کاسه» را تشکیل می‌دهند با نام‌های دُبه، مِراق، فِخذ و مِغرز معروف اند که همگی اسامی عربی اند: دبه به معنای «خرس» است و مِراق به معنی «گُرده» و فخذ و مغرز به ترتیب «ران» و «بن دم» خرس اند.

ستاره‌هایی که «دستهٔ» آب‌گردان را تشکیل می‌دهند به نام‌های قائد، عَناق و جَون موسوم اند که باز هم نام‌هایی عربی به معانی «جلودار» و «بزغاله» اند و معنای دقیق جون هنوز مورد اختلاف است††.

در نزدیکی عناق ستارهٔ کوچک سُها قرار دارد. اعراب این دو ستاره را «اسب و سوار» می‌نامیدند و از ستارهٔ سُها برای آزمونِ دیدِ خوب استفاده می‌کردند. نگاه کنید به شکل ۲-۲.

۲-۳ مقیاس فواصل زاویه‌ای

شکل (آ) ۳-۲ قطر زاویه‌ای ماه تمام در حدود نیم درجه است.



مواضع ستارگان بر حسب زاویه یا قوس بیان می‌شود. فاصلهٔ زاویه‌ای، که به درجه سنجیده می‌شود، زاویه یا قوسی است که رأس آن نقطه دید ناظر است.

اندازه‌گیری زوایای کوچک در آسمان دارای اهمیت است. قطر ماه در حدود نیم درجه است که به طور رسمی‌تر به این صورت بیان می‌شود: زاویه یا قوسی که قطر ماه تمام با آن به چشم ما می‌آید 0.5° است. نگاه کنید به شکل

† آب‌گردان یا ملاقه ترجمهٔ لغت انگلیسی Dipper است که به این صورت اطلاق می‌شود. چون نویسنده در این فصل و فصل‌های بعدی کراراً به «دسته» و «کاسهٔ» آب‌گردان اشاره می‌کند، آن را هم به عنوان نامی برای دب اکبر آوردیم.

قدما دب اکبر را بنات‌النعش کبری نیز نام نهاده بودند. چهار ستارهٔ «کاسه» را نعش و سه ستارهٔ دسته را بنات می‌نامیدند. م.

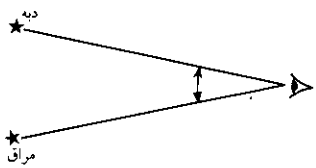
†† نام لاتینی جون Alioth است، که آن هم ماخوذ از عربی دانسته شده است. اشارهٔ نویسنده به معنی این کلمه است. ولی منشاء اصطلاح جون نیز روشن نیست. رجوع کنید به زیرنویس صفحهٔ ۱۰۰ کتاب التفهیم ابوریحان بیرونی به تصحیح جلال همایی. م.

(آ) ۳-۲.

فاصلهٔ زاویه‌ای دیگری که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد، فاصلهٔ میان دبه و مراق است که نزدیک به پنج درجه است.

در فاصلهٔ بین این دو ستاره می‌توان ده ماه را کنار هم جای داد. نگاه کنید به شکل (ب) ۳-۲.

شکل (ب) ۳-۲ زاویه‌ای که دبه و مراق از دیدگاه یک ناظر زمینی با یکدیگر می‌سازند نزدیک به °۵ است.



مسئله (آ)۳-۲

فاصلهٔ زاویه‌ای میان دبه و مغرز را تخمین بزنید.

جواب: تقریباً °۱۰

مسئله (ب)۳-۲:

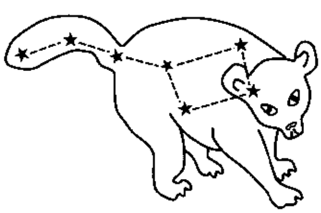
ستاره قطبی (جُدی) را با استفاده از اطلاعات زیر پیدا کنید (نگاه کنید به شکل ۱۷-۲).

آ. جدی در امتداد خط واصل دبه و مراق است.

ب. °۲۹ درجه از دبه و البته °۳۴ از مراق فاصله دارد.

۴-۲ افسانه‌ها

شکل ۴-۲ دب اکبر. به وضعیت آب‌گردان توجه کنید.



یکی از نخستین نام‌هایی که به این صورت فلکی داده شد «خرس بزرگ» بود و نام‌های عربی به معنای ران، گرده و غیره قسمت‌های مختلف بدن خرس را بیان می‌کنند. نگاه کنید به شکل ۴-۲.

دلیل این نام روشن نیست. زیرا که ناظر به دشواری می‌تواند طرح بدن خرس یا حیوان دیگری را در این صورت تصویر کند.

بنابر افسانه‌ای کهن، خرس نشان‌دهندهٔ کالیستو، دختر شاه آرکادیا و معشوقهٔ ژوپیتر بود و ژوپیتر برای حفاظت او، او را به صورت خرسی درآورد و بر آسمان‌ها نهاد.

بنابر افسانه‌ای دیگر، روح بزرگ، خرس بزرگ را با قصد و عمد بر آسمان نهاد تا «گاهشمار» خرس‌های زمینی باشد. در نیم سالی که خرس بزرگ بر ارتفاعی کم جای دارد، همهٔ خرس‌های زمینی در غارهای خود می‌مانند و خود را گرم نگه می‌دارند. وقتی که خرس بزرگ در آسمان اوج می‌گیرد، خرس‌ها نیز غارهایشان را ترک می‌گویند زیرا تابستان آغاز شده است.

۲-۵ نام‌های دیگر

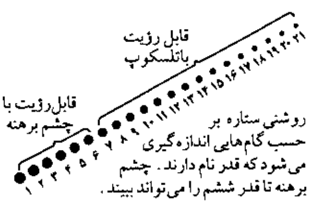
نام‌های دب اکبر و آب‌گردان هنوز مصطلح اند. نام علمی این صورت فلکی ترجمهٔ لاتینی خرس بزرگ یعنی Ursa Major. در انگلستان این صورت را گاوآهن یا ارابه گویند[†].

گوشزد: اگر بخواهیم دقیق باشیم، اصطلاح آب‌گردان را باید به هفت ستارهٔ پرنور و اصطلاح دب اکبر یا Ursa Major را به همهٔ ستاره‌های این صورت اطلاق کرد. اما اغلب این دو اصطلاح را به جای هم به کار می‌برند.

۲-۶ روشنی ظاهری ستارگان

روشنی ظاهری هفت ستارهٔ آب‌گردان با هم فرق می‌کند. پرنورترین آن‌ها جون و کم‌فروغ‌ترین‌شان مغرز است. این مطلب، به طور فنی، بر حسب قدر ظاهری بیان می‌شود: جون کمترین قدر ظاهری (۷ر ۱) و مغرز بیشترین قدر ظاهری (۴ر ۳) را دارد.

۲-۷ طبقه‌بندی ابرخس بر اساس روشنی ستارگان



شکل۷-۲ رابطهٔ میان روشنی و قدر

منجمان یونان باستان ستاره‌های مرئی را بر حسب روشنی ظاهری‌شان به شش گروه تقسیم می‌کردند. این طبقه‌بندی اولیه هنوز هم کم‌وبیش معتبر است. افتخار این طبقه‌بندی به ابرخس[1] داده می‌شود، که در قرن دوم قبل از میلاد در جزیرهٔ رودس[2] می‌زیست.

او پرنورترین بیست ستاره‌ای را که می‌شناخت به‌طور دلبخواه ستارگان قدر اول نامید، پنجاه ستارهٔ بعدی به ترتیبِ روشنی ظاهری، ستارگان قدر دوم نامیده شدند و الی آخر. نام قدر ششم به چند ستاره‌ای داده شد که به دشواری قابل رویت با چشم انسان معمولی بودند. نگاه کنید به شکل ۷-۲. بدین طریق یک طبقه‌بندی کاملاً اختیاری، بر اساس روشنی به‌دست آمد. اما این قدرها صرفاً قدرهای ظاهری هستند. برخی از ستارگان در واقع پرنور اند ولی به سبب فاصلهٔ زیادشان کم‌نور به‌نظر می‌رسند.

۲-۸ قسمت‌بندی اعشاری قدرهای ظاهری

قسمت‌بندی اعشاری، در قرن نوزدهم ارائه شد. در این طبقه‌بندی روشنی

---

† نام پارسی این صورت فلکی هفت اورنگ است. م.

1- Hipparchus
2- Rhodes

ظاهری ستاره‌ای از قدر ۵ر۵ حد وسط روشنی ستاره‌ای از قدر ۰ر۵ و ستاره‌ای از قدر ۰ر۶ است. همین طور وقتی می‌گوئیم ستارهٔ قطبی (جدی) از قدر ۱ر۲ است بدین معنی است که روشنی ظاهری آن مختصری کمتر از روشنی ستاره‌ای از قدر ۰ر۲ است. روش اعشاری تعیین قدرها، هرچه وسیع‌تر به کار رفته، دقیق‌تر شده‌است.

۹-۲ رابطهٔ میان قدر ظاهری و روشنی ظاهری

رابطهٔ ساده‌ای میان قدر ظاهری و روشنی ظاهری وجود دارد. این رابطه بر قانونی روان‌فیزیکی مبتنی است که هرگاه محرک، مثلاً روشنی، به صورت یک تصاعد هندسی نظیر ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶،... افزایش یابد، احساس حاصل از آن به صورت یک تصاعد حسابی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵،... زیاد می‌شود.

از روی این قانون، به‌طور تجربی تعیین شد که ستاره‌های قدر دوم، ۵ر۲ (به عبارت دقیق‌تر ۵۱۲ر۲) برابر پرنورتر از ستاره‌های قدر سوم اند. همین طور ستارگان قدر سوم، ۵۱۲ر۲ برابر روشن‌تر از ستارگان قدر چهارم اند و الی آخر.

مسئله ۹-۲:

قدر ظاهری ستارهٔ دبه از صورت فلکی دب اکبر، ۰ر۲ است. ستارهٔ ناشناخته X دارای قدر ظاهری ۰ر۴ است. دبه چقدر پرنورتر از ستارهٔ X است؟

حل: کاهشی معادل یک قدر، با افزایشی معادل ۵ر۲ برابر در روشنی ظاهری متناظر است. کاهشی معادل دو قدر برابر است با افزایش ۲۵ر۶ = ۵ر۲ × ۵ر۲ برابر در روشنی ظاهری.

جواب: دبه بیش از شش برابر پرنورتر از ستاره X به چشم می‌آید.

با تلسکوپ رصدخانهٔ کوه پالومار ستاره‌های تا قدر ۱۹ را می‌توان دید و از ستاره‌هایی که به کم‌فروغی قدر ۲۴ اند می‌توان عکس‌برداری کرد (با زمان عکس‌برداری طولانی).

حتی از ستاره‌های کم‌نورتر هم می‌توان به کمک لامپ تصویر یا دوربین‌های سی‌سی‌دی (CCD) بسیار حساس، عکس گرفت (نگاه کنید به بخش‌های ۲۴-۵ و ۲۹-۵).

۱۰-۲ مقادیر صفر و منفی قدر ظاهری

بیست ستاره‌ای که بدواً ستارگان قدر اول به شمار آمدند، بعدها مجدداً

دسته‌بندی شدند. این کار از آن رو ضرورت داشت که برخی از این ستاره‌ها بسیار پرنورتر از دیگران بودند. ستاره‌های پرنورتر این گروه با قدرهای ۹ر ۰، ۸ر۰، ۷ر۰ و غیره تا صفر و اعداد منفی مشخص شدند. ستاره‌ای که شب هنگام بیشترین روشنی ظاهری را دارد، شعرای یمانی است. قدر ظاهری آن ۶ر ۱- است. در این مقیاس، قدر ظاهری خورشید بسیار کم است، ۷ر ۲۶-.

۲-۱۱ تعیین قدرهای ظاهری

روش تعیین قدر ستارگان از طریق رصد، نسبتاً ساده است. با داشتن تجربه، می‌توان نتایج نسبتاً دقیقی (دقتی در حدود ۱ر ۰ یک قدر) به دست آورد. این روش به طور وسیع مورد استفادهٔ منجم آلمانی فریدریش آرگه‌لاندر[1] و همکارانش در تهیهٔ فهرست بزرگ ستارگان «کاتالوگ ب.د» (ب.د. علامت اختصاری عنوان آلمانی این فهرست Bonner Durchmunsterung - «کاتالوگ بن» است) قرار گرفت. در این روش رصدکننده روشنی ظاهری یک ستاره را با دو یا چند ستارهٔ مجاور که قدرشان معلوم است مقایسه می‌کند. به این ترتیب ستاره‌ای که اندکی کم‌سوتر از ستارهٔ مجاوری از قدر ۴ر ۲ و اندکی پرنورتر از ستاره‌ای از قدر ۶ر ۲ است، با قدر ۵ر ۲ مشخص می‌شود. در استفاده از این روش باید مطمئن بود که:

آ. ستاره‌ای که می‌خواهیم قدر آن را بسنجیم و ستاره‌هایی که قدرشان معلوم است، فواصل کم و بیش برابری از افق دارند.

ب. ستاره‌هایی که قدرشان معلوم است، تا حد امکان نزدیک به ستاره‌ای باشند که باید سنجیده شود.

پ. یکی از ستاره‌هایی که قدرشان معلوم است اندکی پرنورتر و دیگری اندکی کم‌نورتر از ستارهٔ مورد سنجش باشد.

جدول صفحهٔ مقابل شامل فهرستی از ستاره‌ها است با قدرهای معلوم. از این ستاره‌ها می‌توان در تعیین قدر بسیاری از ستاره‌های دیگر استفاده کرد.

1- Friedrich Argelander

ستاره	صورت فلکی	قدر ظاهری
سُرَةالفَرَس (رأس المسلسله)	اِمرَأةُالمُسَلسَله	۲٫۲
صَدر	ذاتالکُرسی	۲٫۵
ضَفدَع دوم	قَیطُس	۲٫۲
آخِرالنَهر	نهر	۰٫۶
ناطِح	حمل	۲٫۲
ظَلیم †	نهر	۳٫۱
دَبَران	ثور	۱٫۱
رِجلالجبّار	جبار	۰٫۳
عَیّوق	مُمسِکالعِنان	۰٫۲
ناجذ	جبار	۱٫۷
سهیل	حمال	-۰٫۹
شِعرای یمانی	کلب اکبر	-۱٫۶
شِعرای شامی	کلب اصغر	۰٫۵
رأس پیکر پیشین	دو پیکر (جوزا)	۱٫۲
قلبالاسد	اسد	۱٫۳
دُبه	دب اکبر	۲٫۰
صلیب	صلیب	۱٫۱
سِماک رامِح	عَوّا	۰٫۲
زُبانی جنوبی	میزان	۲٫۹
شوله	عقرب	۱٫۷
نونکی	قوس	۲٫۱
مَتنالفَرَس	فَرَس اعظم	۲٫۶

گوشزد: این ارقام را بر روی نقشهها با تقریب به صورت نزدیکترین عدد صحیح مینویسند.

مسئله (آ) ۱۱-۲:

تعیین کنید که کدامیک از دو ستارهٔ قائد و مراق پرنورتر اند.

جواب: قائد پرنورتر است. قدر ظاهری قائد ۱٫۹ و از آن مراق ۲٫۴ است.

† ستارههای α-نهر و θ-نهر هر دو را هم آخرالنهر و هم ظلیم خواندهاند. در اینجا ما α-نهر را آخرالنهر و θ-نهر را ظلیم مینامیم. م

مسئله (ب) ۱۱-۲:

سه ستاره را در دب اکبر نام برید که دارای روشنی برابر اند.

جواب: عناق، مراق و فخذ تقریباً یک روشنی ظاهری دارند. این ستاره‌ها به‌ترتیب دقیقاً از قدرهای ۴ر۲، ۴ر۲ و ۵ر۲ اند. فخذ اندکی از دوتای دیگر کم‌سوتر است.

مسئله (پ) ۱۱-۲:

روشنی ظاهری ستارهٔ قطبی (جُدی) را تعیین کنید.

جواب: جدی اندکی پرنورتر از مراق و اندکی کم‌فروغ‌تر از دبه است. معمولاً آن را به عنوان یک ستارهٔ قدر ۱ر۲ می‌شناسند.

بار دیگر توجه داشته باشید که این مقدار، قدر ظاهری است. در واقع، جدی بسیار درخشان‌تر از خورشید- تقریباً ۱۵۰۰ برابر پرنورتر- است. فقط فاصلهٔ زیاد آن سبب شده‌است که ستاره‌ای از قدر ۱ر۲ باشد. چون بر حسب زمان بیان شود، نور با سرعت ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه، فاصلهٔ زمین تا خورشید را در $\frac{۱}{۳}$ ۸ دقیقه می‌پیماید ولی ۴۰۰ سال طول می‌کشد تا از جدی به زمین برسد.

۱۲-۲ حرکات ظاهری روزانهٔ ستارگان

همه می‌دانند که خورشید به ظاهر در مشرق طلوع می‌کند، قوسی را در آسمان می‌پیماید و در مغرب غروب می‌کند.

ستاره‌ها نیز به ظاهر قوس‌هایی را- از سمت شرقی افق به سمت غربی آن- در آسمان طی می‌کنند. یک دوران کامل ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۰۹ر۴ ثانیه طول می‌کشد. این را به سهولت می‌توان در یک شب صاف به کمک یک ساعت مچی خوب به تقریب ثابت کرد.

مسئله ۱۲-۲:

موضوع: اثبات دوران کامل یک ستاره (این دوره یک «شبانه‌روز نجومی» یا شبانه‌روز اختری نامیده می‌شود).

وسیله: یک ساعت مچی خوب.

طرز کار:

آ. زمان برآمدن ستاره‌ای پرنور از افق شرقی را یادداشت کنید.

ب. روز بعد همان کار (آ) را تکرار کنید.

نتیجه: آزمایش نشان می‌دهد که هر ستاره در هر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و

چهار ثانیه، یک دوران ظاهری کامل را به انجام می‌رساند.

واژهٔ «ظاهری» در اینجا، اغلب به دلیلی درست، تکرار می‌شود. این حرکت به راستی فقط ظاهری است، حتی آن را می‌توان خطای بصری شمرد. در عمل زمین است که به دور محور خود در جهت خلاف می‌گردد و سبب حرکتی می‌شود که به‌نظر می‌رسد ستاره‌ها دارند.

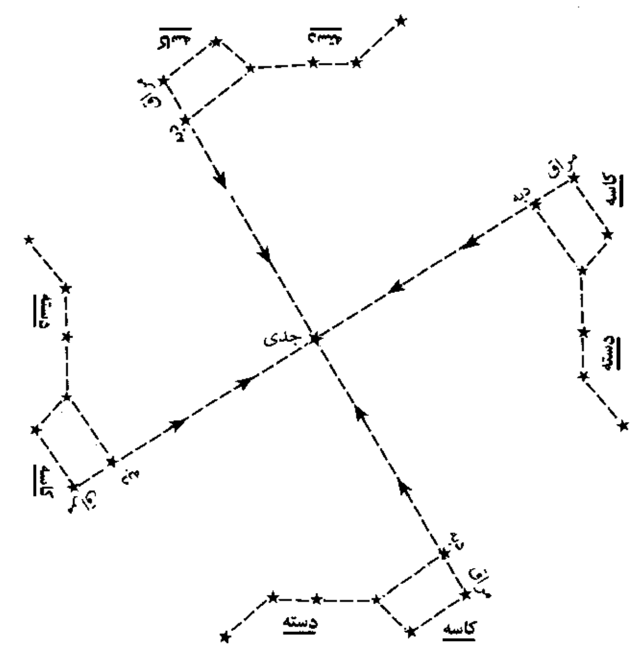
این دوران شبانه‌روزی را با مشاهدهٔ صورتی چون دب اکبر، می‌توان به خوبی رصد کرد.

اگر در رصد اول این صورت فلکی محاذی افق و کاسهٔ آن در طرف راست باشد، شش ساعت بعد، دستهٔ آب‌گردان به طرف پایین خواهدبود.

دوازده ساعت پس از رصد اول، دهانهٔ باز کاسهٔ آب‌گردان رو به پایین به نظر خواهد آمد.

هجده ساعت پس از رصد اول، دستهٔ آب‌گردان به سمت بالا خواهد بود. در هر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و چهار ثانیه، دب اکبر را در هریک از این وضعیت‌ها می‌توان دید.

البته در بخشی از این زمان، آفتاب مانع رصدکردن خواهد شد. نور ضعیف ستاره را در آسمان روشن روز نمی‌توان مشاهده کرد.



شکل ۲-۱۲ در مدتی تقریباً برابر بیست و چهار ساعت، دب اکبر یک دور کامل را در آسمان می‌پیماید. تنها قسمتی از این دایره را عملاً می‌توان مشاهده کرد زیرا خورشید، مشاهدهٔ ستارگان را در روز غیر ممکن می‌سازد. این شکل دب اکبر را در فواصل زمانی شش ساعته نشان می‌دهد.

۲-۱۳ حرکت ظاهری سالانهٔ ستارگان

این واقعیت که ستارگان یک گردش کامل را در کمتر از بیست‌وچهار ساعت انجام می‌دهند، بسیار مهم است. البته معنی آن این است که ستارگان در یک دورهٔ بیست‌وچهار ساعته بیش از یک گردش کامل را می‌پیمایند.

تفاوت میان ۲۴ ساعت و یک دورهٔ تناوب این گردش عبارت است از:

- ۲۴ ساعت

۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه

۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه

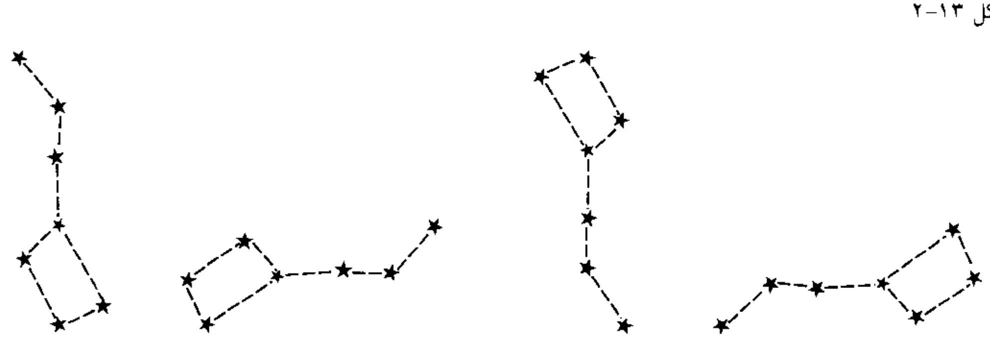
بنابراین ستارگان در سه دقیقه و ۵۶ ثانیهٔ باقیمانده، دوران بعدی را شروع می‌کنند. این را می‌توان با رصد اثبات کرد.

ستاره‌ای که فرضاً در ساعت هشت شامگاه یکشنبه در افق پدیدار می‌شود، شامگاه روز بعد در ساعت هشت اندکی بالای افق خواهد بود. این ستاره در ساعت هشت شامگاه روز سه‌شنبه ارتفاع بیشتری از افق خواهد داشت و یک ماه بعد در ساعت هشت ستاره به مقدار قابل ملاحظه‌ای از افق بالاتر خواهد بود.

سه ماه بعد، در ساعت هشت بعد از ظهر ستاره به اندازهٔ یک چهارم دایره از افق شرقی فاصله خواهد داشت. در پایان یک سال، ستاره یک دایرهٔ ظاهری را کامل کرده است.

این حرکت ستاره نیز، حرکتی ظاهری است و در نتیجهٔ حرکت واقعی زمین حول خورشید است. زمین در حرکت انتقالی خود به دور خورشید، یک گردش کامل را در دوازده ماه می‌پیماید. این حرکت ظاهری سالانهٔ ستارگان بر صورت‌های فلکی نیز حکم‌فرما است.

شکل ۱۳-۲



دب اکبر
ساعت ۸ شب (مهرماه)

۸ شب، سه ماه بعد
(دی‌ماه)

۸ شب، شش ماه بعد
(فروردین‌ماه)

۸ شب، نه ماه بعد
(تیرماه)

بدین طریق در ساعت هشت بعد از ظهر در مهرماه، آب‌گردان دب اکبر نزدیک افق و در وضعیتی است که دهانهٔ کاسه رو به بالا است. سه ماه بعد در همان زمان به هنگام شب، دستهٔ آب‌گردان رو به پائین است. در ماه فروردین، در همان وقت شب دب اکبر ارتفاع زیادی از افق دارد و کاسهٔ آب‌گردان در طرف چپ به نظر می‌رسد. در تیرماه در همان ساعت شب کاسهٔ آب‌گردان به طرف پائین است.

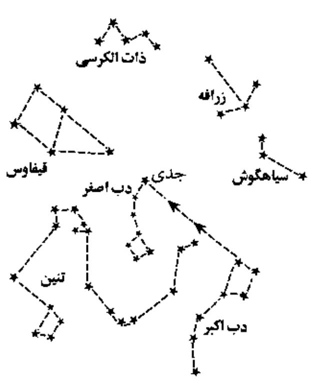
بنابراین در مدتی برابر ۱/۴ ۳۶۵ روز، دب اکبر ۱/۴ ۳۶۶ بار گردش ظاهری را انجام می‌دهد. ۱/۴ ۳۶۵ بار بر اثر دوران زمین به دور محورش و یک بار هم در نتیجهٔ حرکت انتقالی زمین به دور خورشید.

قسمت دوم: ستارگان دورقطبی شمالی

۲-۱۴ مقدمه

در هر عرض جغرافیایی برخی از ستاره‌ها طلوع و غروب می‌کنند، دیگران که ستارگان دورِقطبی † نامیده می‌شوند، همواره بالای افق اند. ستارگان دور قطبی را به شرط آن که شرایط اجازه دهد، هر شب سال می‌توان دید. اگر دخالت خورشید، که نور روشن آن تشخیص نور ضعیف ستارگان را غیر ممکن می‌سازد، نبود در طول روز نیز قابل مشاهده بودند.

شکل ۱٦-۲ صورت‌های فلکی دور قطبی شمالی



۲-۱۵ عرض جغرافیایی و ستارگان دورقطبی شمالی

شمارهٔ ستارگان دورقطبی شمالی با عرض جغرافیایی تغییر می‌کند و با دوری از استوا افزایش می‌یابد. برای ناظری در $20^\circ N$، ستاره‌های دب اکبر هم دور قطبی نیستند، طلوع و غروب می‌کنند و مدتی زیر افق می‌مانند. اما برای ناظری در $40^\circ N$ ستاره‌های دب اکبر همه دورقطبی اند.

۲-۱۶ صورت‌های فلکی دور قطبی شمالی

علاوه بر دب اکبر چهار صورت فلکی معروف دیگر نیز در شمال عرض جغرافیایی $40^\circ N$ همیشه مشهود اند. این صورت‌ها عبارت اند از: دب اصغر،

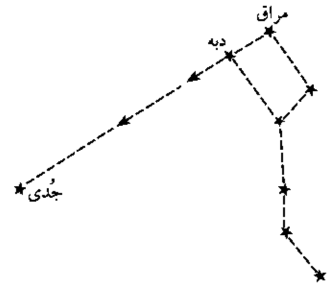
† ایران تقریباً بین عرض‌های $25^\circ N$ و $40^\circ N$ قرار گرفته است. برای نواحی شمالی ایران صورت‌ها و ستاره‌هایی که در این قسمت دورقطبی شمرده شده‌اند همچنان دورقطبی اند ولی در نواحی جنوبی چنین نیست. با استفاده از توضیح بخش ۷-۳ و نقشهٔ ستارگان آسمان به‌سهولت می‌توان ستارگان دورقطبی را در هر عرض جغرافیایی تعیین کرد. م.

ذات‌الکرسی، تنین و قیفاوس. به شکل ۱۶-۲ نگاه کنید.

۲-۱۷ دب اصغر

معروف‌ترین و پرنورترین ستارهٔ این صورت فلکی، جُدَی است. تشخیص آن بسیار آسان است. نقطهٔ شروع، دو ستارهٔ دبه و مراق در کاسهٔ دب اکبر است که به قراولان معروف اند. امتداد خط واصل این دو ستاره از جدی می‌گذرد که آن را با نام‌های ستارهٔ قطبی و α (آلفا)- دب اصغر نیز می‌شناسند. فاصلهٔ زاویه‌ای دُبه تا جُدَی شش برابر فاصلهٔ میان دو قراول است. به شکل ۱۷-۲ نگاه کنید.

شکل ۱۷-۲ استفاده از قراولان (دبه و مراق) دب اکبر برای تعیین مکان جدی. چون فاصلهٔ میان مراق و دبه را شش برابر از دبه ادامه دهید به جدی می‌رسید.

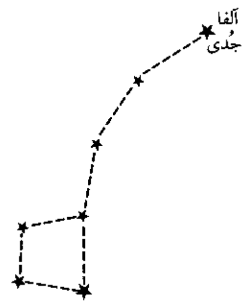


۲-۱۸ ستارگان دب اصغر

بعد از جدی پرنورترین ستارهٔ دب اصغر انور فرقدان[†] یا β- دب اصغر است که قدر ظاهری آن ۲ر۲ است. این یکی از ۵۷ ستاره‌ای است که به عنوان مرجع مورد استفادهٔ دریانوردان (و هوانوردان) است. پنج ستارهٔ دیگر دب اصغر جلوهٔ کمتری دارند و چهارتای آن‌ها از قدر ۴ هم کم‌سوتر اند. به شکل ۱۸-۲ نگاه کنید.

وسعت این صورت فلکی در حدود 20°، یا چهار برابر فاصله میان قراولان است.

شکل ۱۸-۲ ستارگان دب اصغر

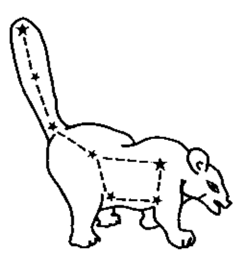


۲-۱۹ افسانه‌ها

دب اصغر به نام‌های بنات‌النعش صغری یا هفت اورنگ کهین نیز مشهور است. وجه تسمیهٔ آن نیز مانند دب اکبر کاملاً نامناسب است. به شکل ۱۹-۲ نگاه کنید.

بنا بر افسانهٔ جالبی از بومیان آمریکا دربارهٔ دب اصغر، گروهی شکارچی بومی راه خود را در جنگل گم کرده بودند. با اجابت دعاهایشان، دختر کوچکی پدیدار شد تا به سلامت آن‌ها را به خانه‌هاشان راهنمائی کند. او روح جدی بود و شکارچیان پس از مرگ در آسمان جای گرفتند تا برای همیشه نزدیک او باشند.

شکل ۱۹-۲ دب اصغر



---

† دو ستاره را که بر سینهٔ خرس کوچک (دب اصغر) است فرقدان یا فرقدین نامند و انور فرقدان یعنی از این دو آن که پرنورتر است. به فرنگی آن را Kochab گویند که همان «کوکب» عربی است. م.

۲-۲۰ جُدی و جهت‌یابی

ستارهٔ جدی در موارد زیر مورد استفاده است:

آ. تعیین نقطهٔ شمال بر افق (شمال جغرافیایی).

ب. تعیین عرض جغرافیایی ناظر

شمال جغرافیایی با فرود آوردن خطی قائم از جدی بر افق مشخص می‌شود. نقطه‌ای که در آن خط قائم دایرهٔ افق را قطع می‌کند شمال جغرافیایی است.

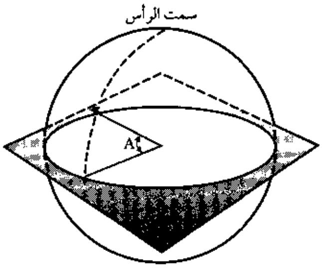
تعیین عرض جغرافیایی بر اساس فرمول زیر است:

عرض جغرافیایی هر نقطه در نیمکرهٔ شمالی = ارتفاع جدی در آن نقطه

بنابراین برای ناظری در ۴۰° N، جدی ارتفاعی برابر ۴۰° دارد، برای ناظری در ۶۰° N، ارتفاع جدی ۶۰° است و الی آخر.

ارتفاع یک ستاره، برحسب درجه، زاویهٔ میان افق ناظر و ستاره در امتداد یک دایرهٔ قائم است. زاویهٔ A در شکل ۲-۲۰ ارتفاع ستاره را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۲۰ ناظر در A قرار دارد. ارتفاع ستاره زاویه‌ای است که خط واصل ناظر و ستاره با افق می‌سازد. این زاویه نیز با A نشان داده شده است. وقتی که ستاره نزدیک افق است ارتفاع آن کم است. هنگامی که ستاره بر سمت‌الرأس جای دارد ارتفاع ۹۰° است.



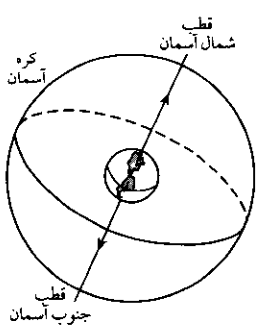
۲-۲۱ قطب‌های آسمان

نام ستارهٔ قطبی از این نکته اخذ شده است که چون محور زمین را ادامه دهیم، آسمان را در نقطه‌ای بسیار نزدیک به این ستاره قطع می‌کند. این ادامهٔ محور زمین را محور عالم می‌نامند.

محور عالم به فرض از بالا و پائین الی غیرالنهایه ادامه دارد. «بالا» در اینجا به معنی فراتر از قطب شمال زمین و «پائین» به معنی آن سوی قطب جنوب زمین است. محور زمین صرفاً جزء کوچکی از محور عالم است. نقاطی را که در آن محور عالم، آسمان را می‌شکافد به ترتیب قطب شمال آسمان و قطب جنوب آسمان نامند.

قطب‌های آسمان محل تقاطع امتداد محور زمین با کرهٔ آسمان است. به شکل ۲-۲۱ نگاه کنید.

شکل ۲-۲۱ محور عالم ادامهٔ محور زمین است. نقطه‌ای که در آن پارهٔ شمالی این محور، کرهٔ آسمان را قطع می‌کند قطب شمال آسمان است. محل تقاطع ادامهٔ جنوبی این محور با کرهٔ آسمان قطب جنوب آسمان است. در بخش ۲-۱۰ کرهٔ آسمان را مورد بحث قرار دادیم و گفتیم که کرهٔ آسمان محصول خیال است. برای آن اندازهٔ مشخصی نمی‌توان قایل شد. می‌توان فرض کرد که شعاع آن «بی‌نهایت» است.

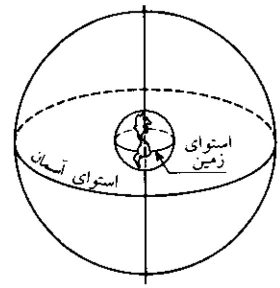


گوشزد: سروکار نجوم با دو کره است: یکی زمین و دیگری کره‌ای بی‌نهایت بزرگ‌تر از زمین که «پرده»‌ای است که تمام ستارگان آسمان را بر آن می‌بینیم. باید اشاره کرد که ما بر سطح بیرونی کرهٔ واقعی زمین و در داخل کرهٔ خیالی آسمان زندگی می‌کنیم.

۲-۲۲ معدل‌النهار یا استوای آسمان

نقاطی بر کرهٔ آسمان که در نیمه راه قطب‌های شمال و جنوب آسمان جای گرفته‌اند، معدل‌النهار یا استوای آسمان را تشکیل می‌دهند. استوای آسمان دایره‌ای است فرضی به شعاع بی‌نهایت که بر همان صفحهٔ استوای زمین قرار گرفته است. این هر دو دایره مرکز واحدی دارند. راه دیگری برای تجسم استوای آسمان آن است که تصور کنیم شعاع استوای زمین پیوسته افزایش یابد تا آن که این دایره بر سطح داخلی کرهٔ آسمان منطبق گردد. به شکل ۲-۲۲ نگاه کنید.

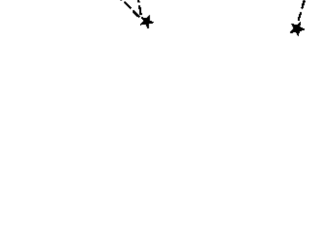
شکل ۲-۲۲ استوای آسمان. این دایره در همان صفحه‌ای است که استوا و مرکز زمین در آن قرار دارد. استوای آسمان «بی‌نهایت بار» بزرگ‌تر از استوای زمین است.



۲-۲۳ ذات‌الکرسی و قیفاوس

ادامهٔ خطی که از قراولان دب اکبر می‌گذرد، چون از جدی فراتر رود به صورت‌های فلکی قیفاوس و ذات‌الکرسی می‌رسد. قیفاوس به شکل مثلثی است که بر ضلع مربعی ساخته شده و ذات‌الکرسی کم و بیش شبیه حروف M یا W است. به شکل ۲-۲۳ نگاه کنید.

شکل ۲-۲۳ صورت‌های فلکی قیفاوس و ذات‌الکرسی. توجه شود که صورت فلکی اخیر بسته به آن که زیر یا بالای جدی باشد مانند W یا M به چشم می‌آید. نقطه‌ای که با شمارهٔ ۱۵۷۲ مشخص شده مکان ستارهٔ تیخو است.



۲-۲۴ ستارهٔ تیخو

صورت فلکی ذات‌الکرسی در سال ۱۵۷۲، تاریخ‌ساز شد. در ۱۱ نوامبر آن سال به‌ناگاه ستاره‌ای «نو» در این صورت ظهور کرد و به قدری روشن بود که در روز هم دیده می‌شد. تیخوبراثه (۱۶۰۱-۱۵۴۶) منجم دانمارکی به مطالعهٔ دقیق این ستارهٔ «نو» پرداخت و جزئیات ماجرای آن را ثبت کرد. این ستارهٔ تاریخی مدتی است که دیگر روشنی بسیار زیاد خود را از دست داده است. اما هنوز هم آن را ستارهٔ تیخو می‌نامند.

اکنون ستارهٔ تیخو را در زمرهٔ ابرنواختران می‌شمارند. ابرنواختران ستاره‌هایی اند که روشنی آن‌ها به طور ناگهانی چندین میلیون برابر روشنی اولیه می‌شود. به دنبال این افزایش، سقوطی تدریجی است که سرانجام ستاره فقط کسر کوچکی از روشنی نخستین خود را باز می‌یابد. ابرنواختران دیگری نیز ثبت شده‌اند. احتمالاً افزایش شگفت‌انگیز نور آن‌ها، بر اثر بروز انفجار در ستاره است. در این فاجعه، ستاره بخش بزرگی از جرم خود را از دست می‌دهد.

۲-۲۵ ستارگان قیفاوسی

پرنورترین ستاره و دومین ستارهٔ پرنور قیفاوس هیچ‌یک از اهمیتی خاص برخوردار نیستند. چهارمین ستارهٔ پرنور این صورت فلکی، δ (دلتا) - قیفاوس

قرین شهرت شده است.

در حال حاضر، صدها ستاره تحت عنوان «ستارگان قیفاوسی» طبقه‌بندی شده‌اند. آن‌ها را «قیفاوسی» هم می‌گویند. این‌ها ستاره‌هایی اند با روشنی متغیر. حداکثر روشنی δ- قیفاوس دو و نیم مرتبه بیش از حداقل آن است. قدر ظاهری آن، با دورهٔ تناوب بسیار منظم ۵ روز و ۸ ساعت و ۴۷ ثانیه، از ۲ر۳ در وضع ماکزیموم تا ۵ر۴ در حالت مینیموم تغییر می‌کند.

علت احتمالی این تغییر روشنی، تپش ستاره است. حجم این قبیل ستاره‌ها متناوباً زیاد و کم می‌شود و تغییر روشنی را سبب می‌گردد.

نجوم دین خاصی به این ستاره‌ها دارد. قیفاوسی‌ها در برآورد فواصل دورترین نقاط جهان، کمک بزرگی به شمار می‌آیند. فاصلهٔ کهکشان‌های مجاور با کمک این ستاره‌های متغیر تعیین می‌شود.

۲۶-۲ راه کاهکشان

راه کاهکشان(یا راه شیری) از میان صورت‌های فلکی ذات‌الکرسی و قیفاوس می‌گذرد و به چشم برهنه چون نوار باریکی از نوری مه‌آلود می‌آید. (راه کاهکشان در بخش ۲۱-۱ بحث شده است).

۲۷-۲ افسانه‌های مربوطه به کاسیوپیه (ذات‌الکرسی) و کفئوس (قیفاوس)

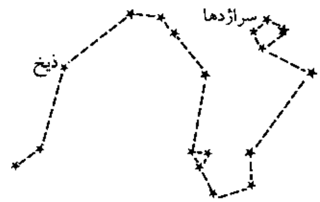
در اساطیر یونان کاسیوپیه ملکهٔ زیبا ولی خودخواه اتیوپی بود. کفئوس شوهر او و آندرومدا دختر او بود. به سزای خودخواهی‌اش مقدر شد که به گروهی ستاره تبدیل شود و برای همیشه دور قطب بگردد و شوهر حسودش کفئوس، بر او ناظر باشد.

۲۸-۲ صورت فلکی تِنین یا اژدها

به لاتین اژدها را Draco می‌گویند. این صورت فلکی، نسبتاً طویل و پر پیچ و خم است- قسمتی از آن بین دب اکبر و دب اصغر قرار دارد و بقیه به دور دب اصغر می‌پیچد و به مجموعه‌ای از چهار ستاره منتهی می‌شود. این چهار ستاره سر اژدها را مشخص می‌کنند. به شکل ۲۸-۲ نگاه کنید.

پنج هزار سال پیش ذیخ یا α (آلفا)- تنین ستارهٔ قطبی بود. زیرا که قطب شمال آسمان در نزدیکی آن جای داشت. در آن زمان ذیخ تنها ستارهٔ ساکن آسمان به نظر می‌آمد و ستارگان دیگر همگی دوایری را به دور آن

شکل ۲-۲۸ صورت فلکی اژدها(تنین). به ستارهٔ ذیخ در اژدها توجه شود. ۵،۰۰۰ سال پیش ذیخ ستارهٔ قطبی بود. محور زمین متوجه به آن بود. در سال ۲۲،۰۰۰ بعد از میلاد باز این ستاره، ستارهٔ قطبی خواهد شد.



می‌پیمودند. ذیخ مورد احترام مصریان بود.

در حال حاضر قطب شمال آسمان در نزدیکی ستارهٔ قطبی است.

قطب شمال آسمان هر ۲۵۸۰۰ سال یک دایرهٔ کامل را می‌پیماید. حرکت قطب شمال آسمان و نیز حرکت قطب جنوب آسمان، به سبب آن است که محور زمین حرکتی تقدیمی دارد. یعنی هر ۲۵۸۰۰ سال یک بار مخروط مضاعف باریکی را می‌روبد.

۲-۲۹ نقشهٔ صورت‌های دور قطبی شمالی

صورت‌های فلکی‌ای که در نزدیکی قطب شمال آسمان قرار دارند در شکل ۲-۱۶ مشخص شده‌اند. در هر صورت فلکی، هر ستاره با حرفی یونانی مشخص می‌شود.

الفبای یونانی

α آلفا	ι یوتا	ρ رو
β بتا	κ کاپا	σ سیگما
γ گاما	λ لاندا	τ تاو
δ دلتا	μ مو	υ اوپسیلون
ε اپسیلون	ν نو	ϕ فی
ζ زتا	ξ کسی	χ خی
η اتا	o امیکرن	ψ پسی
θ تتا	π پی	ω امگا

۲-۳۰ نام‌های ستارگان

حدود شصت ستاره معروف را اغلب به نام‌های خاص‌شان می‌نامند. از این جمله اند: جُدی (ستاره قطبی)، شِعرای یمانی (پرنورترین ستارهٔ آسمان)، انور فرقدان و قلب‌الاسد.

عموماً ستاره‌ها را با حروف یونانی که به صورت پیشوندی بر نام صورت فلکی اضافه می‌شود، مشخص می‌کنند. ستاره‌های دب اکبر به نام‌های α- دب اکبر، β- دب اکبر، γ- دب اکبر و الی آخر شناخته می‌شوند. (در انگلیسی حالت اضافهٔ نام لاتین صورت فلکی به کار می‌رود: حالت اضافه Ursa Major در لاتین Ursa Majoris است).

معمولاً پرنورترین ستاره، پیشوند α (آلفا) را می‌گیرد. دومین ستاره از

لحاظ روشنی با β (بتا) مشخص می‌شود و الی آخر[†]. پرنورترین ستارهٔ سگ بزرگ (کلب اکبر) به α-کلب اکبر موسوم است. سومین ستارهٔ صورت فلکی دو پیکر، γ (گاما) - جوزا نامیده شده است. هرگاه تعداد ستاره‌های پرنور در یک صورت فلکی از شمارهٔ الفبای یونانی تجاوز کند، حروف کوچک لاتینی به کار گرفته می‌شود. اگر تعداد ستارگان از عده حروف این دو الفبا فزون‌تر گردد، منجمان به اعداد پناه می‌برند.

۲-۳۱ نقشهٔ ستارگان را چگونه به کار بریم؟

مبتدیان نجوم معمولاً در استفاده از نقشه دچار اشکال می‌شوند. شاید نمی‌دانند که چگونه باید نقشه را در دست گرفت تا با ستارگان آسمان متناظر باشد. اشکال این است که ناظر بر سطح خارجی یک کره (زمین) قرار دارد و ستارگان را که بر سطح داخلی کره‌ای دیگر (کره آسمان) اند رصد می‌کند. هنگام استفاده از این نقشه فرض کنید که مانند یک تمبر پست پشت آن چسبناک است. نقشه باید بر سطح داخلی کره آسمان چسبانده شود. بدین طریق «چسب» به «ستاره‌ها» می‌چسبد. قبل از انطباق نقشه لازم است که آن را در امتداد درست قرار دهید: ستارهٔ قطبی نقشه را بر ستارهٔ قطبی آسمان منطبق کنید، دب اکبر نقشه، دب اکبر آسمان را بپوشاند. آن‌گاه ستاره‌های دیگر نقشه به درستی نشان دهنده ستاره‌های واقعی اند.

۲-۳۲ حرکات ظاهری روزانه و سالانهٔ ستارگان

همهٔ ستاره‌ها و همهٔ صور فلکی در این گردش‌های ظاهری شرکت می‌کنند و مشاهدهٔ حرکت ستاره‌ها در مدارهایشان، بسیار لذت‌بخش است.

عکس‌برداری از رد پای این ستاره‌ها حتی لذت بیشتری دارد. با وسایلی نسبتاً ارزان می‌توان عکس‌های نسبتاً خوبی به دست آورد. روش کار به طریق زیر است:

هدف: تهیهٔ تصویری از رد ستاره‌ها در منطقهٔ دور قطبی.

وسایل:

الف. یک دوربین خوب.

ب. صفحه یا فیلم عکاسی.

[†] استثناهایی بر این قاعده وجود دارد. پرنورترین ستارهٔ صورت فلکی دوپیکر (جوزا)، نام β- جوزا گرفته در حالی که دومین ستارهٔ روشن این صورت به α (آلفا) - جوزا شهرت یافته است.

پ. چراغ قوه.

روش کار:

الف: دوربین را چنان قراول روید که جدی در مرکز فیلم جای گیرد.

ب: آن را به دقت بر جدی کانونی کنید.

پ: بازترین گشودگی دیافراگم را که تصویر واضحی از ستارگان می‌دهد اختیار کنید.

ت: به مدت چند ساعت نور دهید. چهار تا پنج ساعت زمان مناسبی است.

ث: ممکن است روی عدسی قطرات شبنم جمع شود. در این صورت هر چند وقت یک بار باید آن را پاک کرد. وقتی عدسی‌ها را پاک می‌کنید دوربین نباید تکان بخورد. یک چراغ قوه، به شرطی که در استفاده از آن احتیاط شود ممکن است مفید باشد. چراغ قوه را هرگز روی عدسی نیندازید.

ج: نگاتیو را ظاهر کنید.

نتایج: نگاتیو ظاهر شده، رد ستارگان دورقطبی را نشان خواهد داد. هر ردی به شکل قوسی از یک دایره خواهدبود. نگاتیو همچنین نشان خواهد داد که جدی بر قطب شمال قرار ندارد. جدی خود قوس کوچکی را حول قطب می‌پیماید. طول این قوس بسته به مدت زمانی است که دیافراگم باز بوده است. اگر شش ساعت نور دهیم. قوس، ربع دایره خواهد بود.

گوشزد: جهت این خطها را نیز می‌توان روی عکس مشخص کرد. برای تعیین این که آیا این قوس‌ها در جهت عقربه‌های ساعت پیموده شده‌اند یا در خلاف آن، می‌توان مقیاسی زمانی را بر آن‌ها منطبق کرد. بدین منظور در فواصل زمانی ثابت دیافراگم را می‌بندیم. ممکن است که فاصلهٔ زمانی اول برابر یک ساعت باشد و دو فاصله بعدی هر یک نیم ساعت؛ مدت زمان باقیمانده را به فواصل پانزده دقیقه‌ای تقسیم می‌کنیم. از روی طول‌های مختلف قوس‌های مربوط به یک ستاره، به سهولت می‌توان دوران ظاهری را استنتاج کرد.

قسمت سوم: ستارگان غیردورقطبی

۲-۳۳ مقدمه

در قسمت پیشین به ستاره‌هایی پرداختیم که آن‌ها را در همهٔ شب‌های سال در نیمکرهٔ شمالی می‌توان دید- ستارگان دورقطبی شمالی از صورت‌های فلکی

دورقطبی شمالی.

در این قسمت به ستاره‌هایی می‌پردازیم که فقط در بخشی از سال برای ناظران عرض‌های جغرافیایی میانه، بالاتر از افق قرار دارند. در بقیهٔ سال، به هنگام روز بالای افق اند و دیده نمی‌شوند. اما چون ستاره‌ها به سبب گردش ظاهری سالانه، هر روز چهار دقیقه زودتر از روز قبل طلوع می‌کنند، بالاخره زمانی می‌رسد که به هنگام شب نیز بالای افق دیده شوند.

مشاهدهٔ ستارگان را می‌توان با مشاهدهٔ یک کارناوال مقایسه کرد. در مدت دوازده ماه، کارناوال کامل ستاره‌های غیردورقطبی را می‌توان نظاره کرد. این کارناوال هرساله تکرار می‌شود.

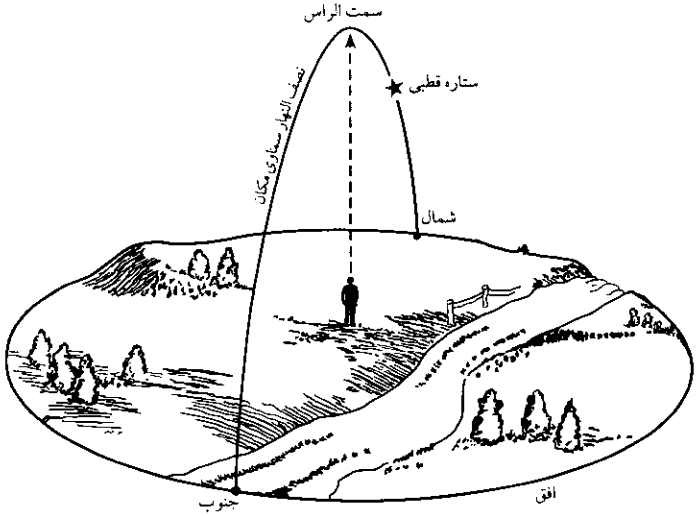
آشنا شدن با بسیاری از ستاره‌های پرنور، دشوار نیست؛ یاد گرفتن برخی از صورت‌های فلکی معروف هم سخت نیست. بدین منظور لازم نیست که همهٔ آسمان را به دنبال آن‌ها گشت. می‌توان دایره‌ای خیالی بر آسمان رسم کرد و صورت‌های فلکی را، وقتی که به این دایره نزدیک می‌شوند یا از آن می‌گذرند، مشاهده کرد. مناسب‌ترین دایره برای این منظور نصف‌النهار سماوی مکان است. این دایره از سمت‌الرأس و نقاط شمال و جنوب افق ناظر می‌گذرد. سمت‌الرأس نقطه‌ای است بر آسمان که مستقیماً بالای سر ناظر قرار دارد. البته فقط نیمی از نصف‌النهار سماوی بالای افق است.

مهم‌ترین راه تعیین تقریبی نصف‌النهار سماوی مکان آن است که خطی خیالی از سه نقطه زیر بگذرانیم(شکل ۲۳-۲).

در شکل‌هایی که از صورت‌های فلکی به طور جداگانه رسم شده، علائم زیر برای مشخص‌کردن قدر ستارگان و محل سحابی‌ها به کار رفته است.

قدر	علامت
۲-	
۱-	
۰	
۱	
۲	
۳	
۴	
سحابی، کهکشان	





شکل ۲۳-۲ نصف‌النهار سماوی مکان، دایره‌ای خیالی در آسمان است. این دایره از نقاط شمال و جنوب افق و سمت‌الرأس می‌گذرد. ستارگان را در حدود ساعت ۹ بعد از ظهر حوالی دهم ماه، رصد کنید و در طول یک سال همهٔ ستارگان آسمان از این خط خواهند گذشت.

آ. نقطهٔ شمال بر افق. یک قطب‌نمای مغناطیسی ساده در این کار کمک خواهد کرد.

ب. سمت‌الرأس. نقطه‌ای در آسمان که مستقیماً بالای سر ناظر است.

پ. نقطه‌ای که جنوب را بر سطح افق مشخص می‌کند. از یک قطب‌نمای مغناطیسی استفاده کنید.

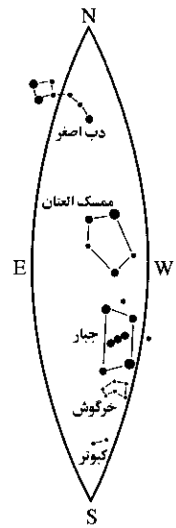
توجه کنید که نصف‌النهار سماوی مکان از ستارهٔ قطبی یا جدی می‌گذرد. کارناوال ستارگان را برای سهولتِ کار به دوازده قسمت، هر قسمت برای یک ماه، تقسیم می‌کنیم.

در زیر، صورت‌های فلکی نزدیک به نصف‌النهار سماوی در هر ماه توصیف شده‌اند. وصف ستاره‌ها به صورتی که در یکی از شب‌های ماه ظاهر می‌شوند، از نظر ما کفایت خواهد کرد. اگر آسمان را در یک شب از هر ماه یعنی در دوازده شب سال بشناسید، آن‌گاه با سیمای شبانهٔ آسمان آشنا شده‌اید. می‌توان از هر ماه و از هر ساعتی در شب آغاز کرد. ما از ماه بهمن آغاز می‌کنیم. نقشه‌ها چنان رسم شده‌اند که آسمان را در ساعت نه بعد از ظهر روز دهم ماه نشان می‌دهند.

۲-۳۴ صورت‌های فلکی بهمن ماه

در شب‌های ماه بهمن، دو صورت از زیباترین صورت‌های فلکی را می‌توان در نزدیکی نصف‌النهار یافت. به شکل ۳۴-۲ نگاه کنید. این دو عبارت اند از جبار (بزرگ‌منش، شکارچی) و ممسک‌العنان (دارندهٔ عنان، ارابه‌ران).

شکل ۳۴-۲ صورت‌های فلکی بهمن ماه. صورت‌های فلکی نزدیک به نصف‌النهار سماوی مکان در ساعت نه شامگاه در حوالی دهم بهمن ماه. دستورالعمل‌های استفاده از نقشه، بخش ۳۱-۲، را دنبال کنید. در اینجا فقط صورت‌های فلکی معروف‌تر مشخص شده‌اند. ستاره‌های قدر سوم و روشن‌تر از آن و نیز ستاره‌های قدر چهارمی که در الگوی متعارف صورت فلکی وارد می‌شوند، نشان داده‌شده‌اند. بزرگی نقاط با روشنی ستاره متناظر است. هرچه نقطه بزرگ‌تر باشد ستاره پرنورتر است.



۲-۳۵ ستاره‌های جبّار

رِجل‌الجبّار و اِبط‌الجوزا[†] دو ستارهٔ پرفروغ این صورت اند. نگاه کنید به شکل ۳۵-۲. رِجل‌الجبّار هفتمین ستارهٔ پرنور آسمان به لحاظ روشنی ظاهری است. درواقع این ستاره درخشنده‌ترین ستارهٔ کهکشان ما است. هرگاه رِجل‌الجبّار به فاصلهٔ خورشید از زمین بود، و نه پانصد سال نوری، ۲۱۰۰۰ مرتبه روشن‌تر از خورشید به‌نظر می‌آمد. رجل واژه‌ای عربی به معنای پا، پای شکارچی را مشخص می‌کند. اِبط‌الجوزا به رنگ نارنجی روشن، زیر بغل شکارچی را نشان می‌دهد و به دلایل چند متمایز است. این ستاره، نخستین

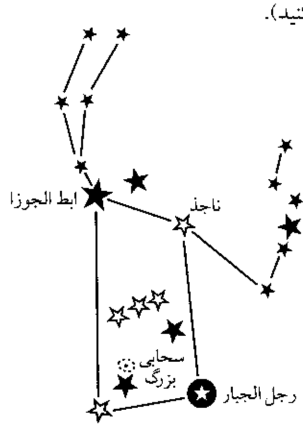
† نام اصلی این ستاره یدالجوزا است. بر اثر ضبط نادقیق در کتاب‌های قدیم فرنگی به صورت Betelgeuse درآمده است و از آنجا در کتاب‌های جدید فارسی صورت ابط‌الجوزا را گرفته است. م.

ستاره‌ای بود که قطر آن از طریق اندازه‌گیری مستقیم با استفاده از وسیلهٔ نبوغ‌آمیزی به نام تداخل‌سنج تابه‌ای به دست آمد؛ یکی از بزرگ‌ترین ستاره‌های شناخته شده است و قطر آن تقریباً ۸۰۰ برابر قطر خورشید است. مدار زمین تماماً در دل ستاره جای می‌گیرد. این ستاره به خاطر تغییرات پیوسته‌ای که در اندازه‌اش روی می‌دهد شایان توجه است- قطر آن چون بادکنکی که باد شود و خالی شود، متناوباً افزایش و کاهش می‌یابد.

بین ابط‌الجوزا و رجل‌الجبّار، سه ستاره است- سه ستاره از قدر دوم به فاصله مساوی از هم- که کمربند جبار را مشخص می‌کند.

شیء بسیار جالب‌توجهی در شمشیر جبار قرار دارد. در آنجا چشم برهنه ستارهٔ محو ابرمانندی را مشاهده می‌کند؛ مطالعه دقیق‌تر نشان می‌دهد که این جسم، سحابی بزرگ جبار است، تودهٔ عظیمی از گاز و غبار که در حالت انگیزش دائمی است و جرم آن به ۱۰۰۰۰ برابر جرم خورشید برآورد می‌شود. این سحابی بر اثر نور ستارهٔ θ(تتا)- جبار که در نزدیکی مرکز این ابر وسیع قرار دارد، دیده می‌شود. تتا- جبار در واقع ستاره‌ای چهارگانه است، چهار ستاره که ذوزنقه‌ای را می‌سازند.

شکل ۳۵-۲ جبّار (بزرگ‌منش، شکارچی). ستاره‌های تا قدر چهارم نشان داده شده است. ستاره‌های قدر پنجم هم در صورتی که جزء نقش متعارف صورت فلکی باشند، با علامت ستارهٔ پنج‌پر مشخص شده‌اند. (برای راهنمای قدرها به صفحه ۳۵ نگاه کنید).



۳۶-۲ پیدا کردن جبار در آسمان

جبار در حدود °۹۰ از جدی فاصله دارد. این صورت فلکی را به سهولت می‌توان پیدا کرد، باید رو به جنوب ایستاد و به بالا، نیمه راه میان افق و سمت‌الرأس را نگریست.

۳۷-۲ جبار در افسانه‌ها

دربارهٔ جبار (که نام لاتینی آن اُریون است) افسانه‌های زیادی وجود دارد، بنابر یکی از این افسانه‌ها، اریون لاف آن زد که هیچ جانوری نمی‌تواند بر وی چیره شود. او جان خود را بر سر این لاف گذاشت. عقربی که ژوپیتر فرستاده بود او را کشت. الهه دیانا را دل بر اریون بسوخت و او را به آسمان برد و در مکانی دور از عقرب- به دوری نیمی از آسمان- جای داد.

جبار را اغلب به صورت مردی که گرزی در یک دست و پوست شیری در دست دیگر دارد، تصویر می‌کنند (به شکل ۳۷-۲ نگاه کنید).

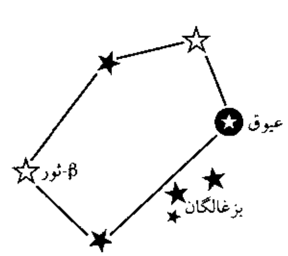
شکل ۳۷-۲ جبار به هیأت مردی که در یک دست گرز و در دست دیگر پوست شیری دارد، نموده می‌شود. رجل‌الجبار، پای شکارچی است. ابط‌الجوزا، لغت عربی به معنی «بغل جوزا» نیز در شکل آمده است. شمشیر را معمولاً طوری رسم می‌کنند که به سحابی بزرگ منتهی شود.



۳۸-۲ ستاره‌های مُمسِک‌العنان یا ارابه‌ران

این صورت فلکی با پنج ضلعی مشخص ستاره‌هایش، متمایز می‌شود. به شکل

شکل ۳۸-۲ ممسک‌العنان (دارندهٔ عنان)



۳۸-۲ نگاه کنید.

در واقع فقط چهارتا از این ستاره‌ها به ممسک‌العنان تعلق دارند، ستارهٔ پنجم، β(بتا)- ثور از صورت فلکی ثَور، گاو، است. عیّوق (بُزبان) پرنورترین ستارهٔ این پنج ضلعی، از حیث روشنی ظاهری، در جمع همهٔ ستارگان آسمان مرتبهٔ پنجم را دارد. ارابه‌ران را معمولاً چون مردی تصویر می‌کنند که ماده بزی به‌دست دارد و ستارهٔ عیوق نشان دهندهٔ قلب بز است. به مثلث کوچکی از سه ستاره که نزدیک عیوق است باید اشاره کرد. این سه ستاره نزد اعراب به بزغالگان معروف بودند.

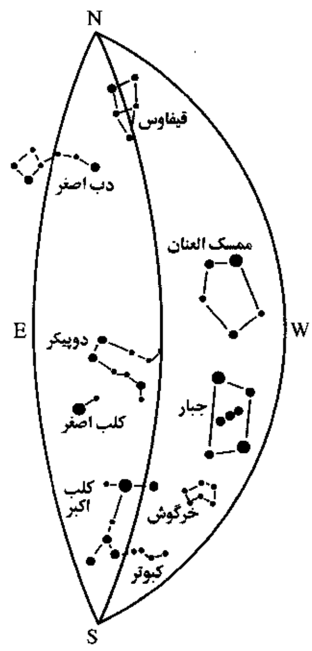
۳۹-۲ پیداکردن ارابه‌ران

ارابه‌ران (ممسک‌العنان) راست بر بالای سر، تقریباً در حد فاصل میان جبار و جدی قرار دارد. شکل پنج ضلعی آن و نیز روشنی عیوق (با قدر ظاهری ۲ر ۰) به تشخیص این گروه ستاره‌ای کمک می‌کند.

۴۰-۲ صورت‌های فلکی اسفندماه

سه صورت فلکی بسیار جالب توجه را می‌توان در اسفندماه در نزدیکی نصف‌النهار دید. جوزا (دوپیکر)، کلب اصغر (سگ خرد) و کلب اکبر (سگ بزرگ) آسمان را در نزدیکی نصف‌النهار سماوی آذین می‌بندند. صورت‌هایی که در ماه بهمن در این مکان بودند جلوتر رفته‌اند. جبار و ارابه‌ران اکنون در غرب نصف‌النهار جای دارند. به شکل ۴۰-۲ نگاه کنید.

شکل ۴۰-۲ صورت‌های فلکی اسفندماه. صورت‌های برجسته‌ای که نزدیک به نصف‌النهار سماوی مکان اند عبارت اند از جوزا، کلب اصغر و کلب اکبر. صورت‌های فلکی بهمن‌ماه که در قسمت هاشورزده قرار دارند به سمت افق غربی حرکت کرده‌اند. به توضیح شکل ۳۴-۲ نگاه کنید.



۴۱-۲ ستاره‌های جوزا یا دوپیکر (توأمان)

رأس پیکر پیشین و رأس پیکر پسین، دو ستارهٔ روشن این صورت اند† نگاه کنید به شکل ۴۱-۲. این دو ستاره معمولاً به دوپیکر نیز شهرت دارند. رأس پیکر پسین غولی است از قدر اول؛ رأس پیکر پیشین اندکی کم‌سوتر است.

در نام‌گذاری علمی، رأس پیکر پسین، ستارهٔ پرنورتر، β(بتا)- جوزا و رأس پیکر پیشین، α(آلفا)- جوزا نامیده می‌شود. این یکی از مواردی است که در آن این قاعده رعایت نشده است که پرنورترین ستاره، ستارهٔ α شمرده شود.

در اساطیر یونان کاستور (پیکر پیشین) و پولوکس (پیکر پسین) فرزندان دوقلوی لیدا و ژوپیتر و برادران هلن تروا بودند. اعراب، با مهربانی تمام آن دو

† در نجوم اسلامی این دو ستاره را با هم ذراع مبسوطه (بازوی راست کرده) نامند. نام‌های بالا ترجمهٔ رأس‌التوأم‌المقدم و رأس‌التوأم‌الموخر است.

را طاوسان می‌نامیدند. نزد هندویان به خدایان تو أم شهرت داشتند.

و با این حال آن‌ها تو أمان نیستند. این دو ستاره هرچند به‌ظاهر در کنجی از آسمان همسایه‌اند، در واقع بسیار دور از یکدیگر اند. رأس پیکر پیشین بسیار دورتر از رأس پیکر پسین است.

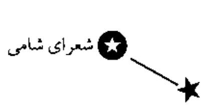
شکل ۴۱-۲ جوزا (دوپیکر). قدر رأس پیکر پسین ۲ر۱ است و قدر رأس پیکر پیشین ٦ر۱. ستارهٔ اخیر در واقع ستاره‌ای دوگانه است: مؤلفهٔ پرنورتر دارای قدر ظاهری ۰ر۲ و مؤلفه‌کم‌سوتر از قدر ظاهری ۹ر۲ است.



۴۲-۲ ستاره‌های کلب اصغر یا سگ خُرد

ستارهٔ پرنور صورت فلکی سگ خرد، شِعرای شامی است. قدر ظاهری آن ۵ر۰ است و رنگ آن به زردی می‌زند که شاخص آن است و نیم ساعت پیش از شعرای یمانی ستارهٔ پرنور سگ بزرگ طلوع می‌کند. نام یونانی این ستاره، Procyon از دو کلمه به معنای «پیشاپیش سگ» مشتق شده است. به شکل ۴۲-۲ نگاه کنید.

شکل ۴۲-۲ کلب اصغر (سگ کوچک) صورت فلکی بسیار کوچکی است. شعرای شامی، هشتمین ستارهٔ پرنور آسمان یکی از نزدیک‌ترین ستاره‌ها به زمین است و فقط ۲ر۱۱ سال نوری از ما فاصله دارد.

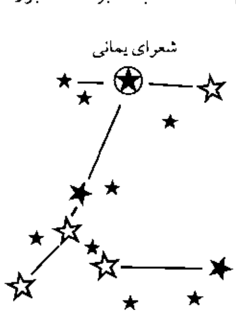


۴۳-۲ ستاره‌های کلب اکبر یا سگ بزرگ

پرنورترین ستارهٔ آسمان شب شعرای یمانی یا شباهنگ با قدر ظاهری ٦ر۱-، در این صورت است. به شکل ۴۳-۲ نگاه کنید. روشنی ظاهری آن هم در نتیجهٔ روشنی ذاتی آن است-که ۲۷ بار از خورشید درخشان‌تر است و هم به علت نزدیکی آن به منظومهٔ شمسی. فاصلهٔ آن از ما ٦ر۸ سال نوری است. شعرای یمانی نزدیک‌ترین ستاره‌ای است که در ایران می‌توان با چشم دید. در کشورهای جنوبی‌تر ستاره‌هایی را می‌توان رصد کرد که از شعرای یمانی به زمین نزدیک‌تر اند.

شعرای یمانی، با شهرتی که دارد، دارای ندیمی است درخور توجه بیشتر به نام توله: شعرای یمانی و توله مجموعاً تشکیل یک ستارهٔ دوتایی را می‌دهند. (دو ستاره که دور گرانیگاه مشترک‌شان می‌گردند یک ستارهٔ دوتایی نامیده می‌شود) روشنی توله فقط $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ روشنی شعرای یمانی است. علت شهرت توله، چگالی بسیار زیاد آن است که به سبب جرم زیادی است که در حجم نسبتاً کوچکی گرد آمده است. جرم توله ۲۵۰،۰۰۰ برابر جرم زمین برآورد می‌شود. قطر آن فقط سه برابر قطر زمین است. یک سانتیمتر مکعب از مادهٔ این ستاره صدوپنجاه کیلوگرم وزن دارد!.

شکل ۴۳-۲ کلب اکبر (سگ بزرگ)



۴۴-۲ افسانه‌های مربوط به سگ‌ها

چون جبار شکارچی است، طبیعی است که سگ‌ها از آن او باشند. سگ بزرگ و سگ خرد هردو در آسمان به فاصله‌ای اندک جبار را دنبال می‌کنند.

افسانهٔ لطیفی دربارهٔ ایکاریوس[1] و سگ باوفایش مِرا[2] نقل می‌شود. مِرا تمام عمر و حتی پس از آن که صاحبش کشته شد، در کنار او ماند. بنا بر این افسانه، خدایان وفای مِرا را با قرار دادن او در آسمان پاداش دادند و او «کلب اصغر» شد.

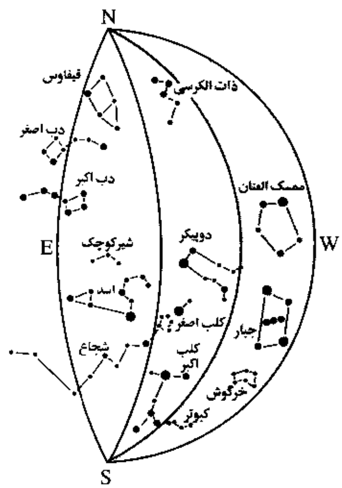
۲-۴۵ پیداکردن دو پیکر و سگ‌ها

دو پیکر نصف‌النهار سماوی را در نزدیکی سمت‌الرأس قطع می‌کند. کلب اکبر در نزدیکی نقطهٔ جنوب افق و کلب اصغر در نیمه راه سگ بزرگ تا دو پیکر قرار دارد.

برای تشخیص ستاره‌ها رهنمودهای گوناگونی به‌کار گرفته می‌شود. بد نیست بدانیم که ابط‌الجوزا در صورت جبار، شعرای یمانی در کلب اکبر و شعرای شامی در کلب اصغر، مثلثی متساوی‌الاضلاع می‌سازند. هر ضلع این مثلث قوس زاویه‌ای °۲۵، یا تقریباً پنج برابر فاصلهٔ میان قراولان است. خط راهنمای دیگری نیز برای پیدا کردن شعرای یمانی به‌کار می‌رود: ادامهٔ «ستاره‌های کمربند» جبار به سمت جنوب شرقی از شعرای یمانی می‌گذرد.

۲-۴۶ صورت‌های فلکی فروردین‌ماه

اسد (شیر)، اسد اصغر (شیر کوچک) و شجاع (مار باریک) در ماه فروردین نزدیک نصف‌النهار اند. در این موقع دوپیکر و سگ‌ها در مغرب نصف‌النهار جای دارند. شکارچی و ارابه‌ران نزدیک افق غربی قرار دارند. به شکل ۲-۴۶ نگاه کنید.



شکل ۲-۴۶ صور فلکی فروردین ماه. اسد، شیر کوچک و شجاع از زمرهٔ صورت‌های برجستهٔ نزدیک به نصف‌النهار سماوی مکان اند. صورت‌های ماه اسفند که در قسمت هاشورزده نشان داده شده به سمت مغرب حرکت کرده‌اند و صورت‌های فلکی بهمن ماه (ارابه‌ران) اکنون در نزدیکی افق غربی جای دارند. به توضیح شکل ۲-۳۴ نگاه کنید.

۲-۴۷ ستاره‌های اسد

ستارگانی که به اسد، شیر بزرگ‌تر، تعلق دارند، نقش داسی را رقم می‌زنند که مثلثی به دنبال دارد. به شکل ۲-۴۷ نگاه کنید. در اساطیر یونان، این صورت فلکی نمایندهٔ شیری است که توسط هرکولس (جاثی) در نخستین خان از خان‌های دوازده‌گانه‌اش کشته شد. ستارهٔ روشنی که در انتهای داس قرار دارد، قلب‌الاسد (رگولوس، شاه کوچک) است. نام رگولوس را کوپرنیکوس به این ستاره داده است. این ستاره در غرب به نام‌های دیگری چون پادشاه، نیرومند، قهرمان و حاکم نیز شهرت دارد.

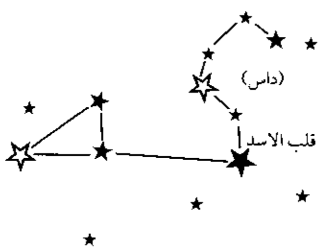
قلب‌الاسد ستاره‌ای سفید رنگ و از قدر اول است. هشت ماه از سال در

1- Icarius 2- Mera

عرض‌های جغرافیایی میانه، مرئی است. در شب سال نو مسیحی، حدود ساعت نه بعدازظهر به وقت محلی، در مشرق و اندکی به سمت شمال طلوع می‌کند و تا آخر مرداد، شب هنگام دیده می‌شود.

۲-۴۸ پیداکردن اسد

قلب‌الاسد را به‌سهولت می‌توان با ادامه دادن قراولان دب اکبر در سمت خلاف جدی و به اندازهٔ زاویه‌ای °۳۵ یا هفت برابر فاصلهٔ میان قراولان، دبه و مراق، پیدا کرد.



شکل ۲-۴۷ اسد (شیر). قلب‌الاسد با قدر ۱٫۳، ۷۱ سال نوری از خورشید فاصله دارد. این ستاره با سرعت تقریبی ۸،۰۰۰ کیلومتر در ساعت از زمین دور می‌شود. قلب‌الاسد حدود ۱۰۰ مرتبه از خورشید درخشنده‌تر است.

۲-۴۹ شجاع یا مار باریک

این صورت فلکی بیش از یک ربع دایره در آسمان می‌گسترد. سر مار نزدیک کلب اصغر است و دم آن به فاصلهٔ تقریبی °۱۰۰ از سر، نزدیک صورت فلکی میزان جای دارد. ستاره‌های این صورت کم‌فروغ اند: پرنورترین‌شان ستاره‌ای است از قدر دوم به نام فَرد که معنی آن «تنها و یگانه» است. ستاره‌ای است سرخ‌رنگ که بر قلب مار قرار دارد.

بر طبق افسانه‌ای قدیمی، مار باریک یا هودرا، مخلوقی غریب بود. چندین سر داشت و می‌توانست آن‌ها را عوض کند. چون سری قطع می‌شد دو سر تازه جای آن می‌رویید.

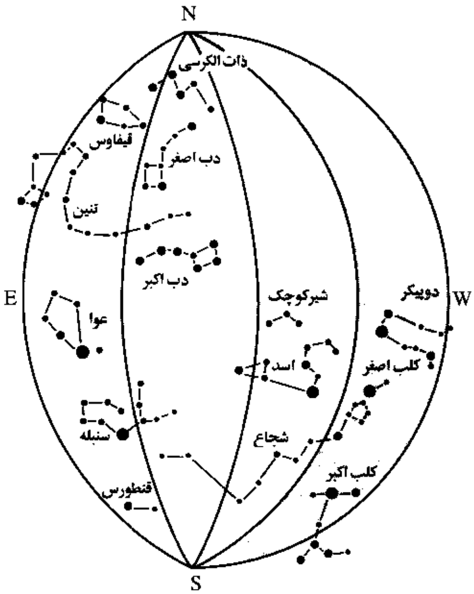
۲-۵۰ صورت‌های فلکی اردیبهشت‌ماه

دب اکبر بر فرق آسمان جای دارد. به شکل ۲-۵۰ نگاه کنید. قراولان نصف‌النهار را قطع می‌کنند و نزدیک سمت‌الرأس اند. دهانهٔ کاسهٔ آب‌گردان به طرف پائین است و دستهٔ آن در امتداد مشرق. دب اکبر به تفصیل در بخش ۲-۳ وصف شده است.

۲-۵۱ صورت‌های فلکی خردادماه

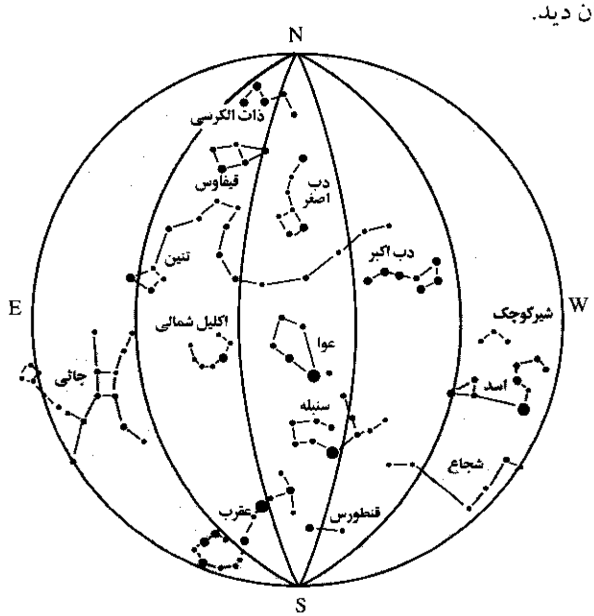
عَوّا و سنبله دو صورت فلکی اند که در این ماه باید آن‌ها را دید. هرکدام یک ستارهٔ پرنور دارند که به تشخیص آن‌ها کمک می‌کند. به شکل ۲-۵۱ نگاه کنید.

عوّا، نصف‌النهار را در نزدیکی سمت‌الرأس قطع می‌کند، حال آن که سنبله در نیمه راه میان سمت‌الرأس و نقطهٔ جنوبی افق است.



شکل ۵۰-۲ صورت‌های فلکی اردیبهشت‌ماه. سه صورت فلکی دور قطبی در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان بسیار برجسته اند: دب اصغر، دب اکبر و ذات‌الکرسی. صور فلکی ماه فروردین در قسمت سایه‌زده، در غرب نصف‌النهار و صورت‌های ماه اسفند (جوزا و غیره) رهسپار افق غربی اند. در مشرق نصف‌النهار در زمینهٔ سایه‌زده صورت‌های عوا، سنبله و قنطورس قرار دارند. به توضیح شکل ۳۴-۲ نگاه کنید.

در نزدیکی افق جنوبی چند ستاره از صورت فلکی قنطورس دیده می‌شود. پرنورترین ستاره‌های این صورت فلکی هرگز در عرض‌های جغرافیایی میانه، بالای افق نیستند. آن‌ها را در عرض‌های جغرافیایی نزدیک به استوا و جنوبی‌تر می‌توان دید.



شکل ۵۱-۲ صورت‌های فلکی خرداد ماه. عوا و سنبله در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان، بسیار برجسته اند.
صورت‌های ماه فروردین (اسد و دیگران) کاملاً تا افق غربی پیش رفته‌اند. اکلیل شمالی و عقرب در قسمت سایه‌زده جای دارند و در ماه تیر در نزدیکی نصف‌النهار سماوی خواهند بود. جاثی در قسمت سایه‌زدهٔ تیره نزدیک به افق شرقی است و در مرداد ماه نزدیک نصف‌النهار سماوی مکان خواهد بود. به توضیح شکل ۳۴-۲ نگاه کنید.

۲-۵۲ ستاره‌های عوّا

از هشت ستارهٔ عوّا که به وضوح مرئی اند، α (آلفا)- عوّا مشهور به سِماک رامِح(نگهبان شمال) شایستهٔ توجه خاص است. به شکل ۲-۵۲ نگاه کنید. این ستاره، به رنگ سرخ روشن، از معدود ستاره‌هایی است که از آن در کتاب مقدس نام برده شده است. در سال ۱۹۳۳ نمایشگاه جهانی شیکاگو، با نوری که از سِماک رامِح می‌آمد و بر یک سلول فتوالکتریک کانونی شده بود، افتتاح شد. در آن زمان فکر می‌کردند که سِماک رامِح به فاصلهٔ ۵۰ سال نوری از زمین است و آن پرتو نور از سال ۱۸۸۳، سال نمایشگاه جهانی قبلی شیکاگو، رهسپار زمین بوده است. محاسبات جدیدتر حاکی از آن است که سِماک رامِح به فاصلهٔ ۳۸ سال نوری است.

سِماک رامِح که از حیث روشنی مرتبه چهارم را در میان ستارگانی دارد که در عرض‌های جغرافیایی میانه مرئی اند (قدر ظاهری ۰٫۲) ششمین ستارهٔ پرنور سراسر آسمان است، همچنین یکی از ستاره‌های پرنوری است که به تندی حرکت می‌کنند. تخمین زده می‌شود که سرعت آن بیش از ۱۲۵ کیلومتر در ثانیه است. سِماک رامِح به علت دوری، هشتصد سال طول می‌کشد تا قوسی برابر نیم درجه را در آسمان بپیماید. هشتصد سال دیگر، سِماک رامِح به اندازهٔ نیم درجه، فاصله‌ای برابر قطر ظاهری ماه، به صورت فلکی سنبله نزدیک‌تر خواهد بود.

شکل ۲-۵۲ عَوّا (بانگ کننده). سِماک رامِح نزدیک به ۸۰ مرتبه از خورشید پرنورتر است. ستاره‌ای است غول‌پیکر با دمای کم و چگالی اندک.



۲-۵۳ پیدا کردن عوّا در آسمان

اغلب اوقات برای پیدا کردن سِماک رامِح، ستارهٔ پرنور عوّا، از دستهٔ آبگردان استفاده می‌کنند. قوسی را که با دستهٔ آبگردان مشخص می‌شود °۳۰ ادامه می‌دهیم (شش برابر فاصلهٔ قراولان)؛ قوس ادامه یافته به سِماک رامِح منتهی می‌شود.

۲-۵۴ ستاره‌های سنبله یا عَذرا (دوشیزه)

ستارهٔ روشن این صورت فلکی، سِماک اَعزَل است. به شکل ۲-۵۴ نگاه کنید. ستارهٔ سفید زیبائی است که در اسفندماه اندکی مایل به جنوب شرقی از افق برمی‌آید و تا پایان تابستان، در عرض‌های جغرافیایی میانه مرئی است. بر طبق افسانه‌ها سِماک اَعزَل (که آن را سنبله یا خوشه نیز خوانند. م.) خوشهٔ گندمی را نشان می‌دهد که در دست دوشیزه است و فرارسیدن زمان کشت را به یاد دهقان می‌آورد.

دو دایرهٔ مهم بر کرهٔ فلکی، استوای آسمان یا معدل‌النهار و دایرةالبروج در نزدیکی سماک اعزل یکدیگر را قطع می‌کنند. دایرةالبروج دایره‌ای ظاهری است که خورشید بر کرهٔ آسمان می‌پیماید. نقطه‌ای که در آن استوای آسمان و دایرةالبروج یکدیگر را قطع می‌کنند، اعتدال پائیزی نامیده شده است. خورشید در اول مهرماه یا در آن حدود، بر این نقطه واقع است.



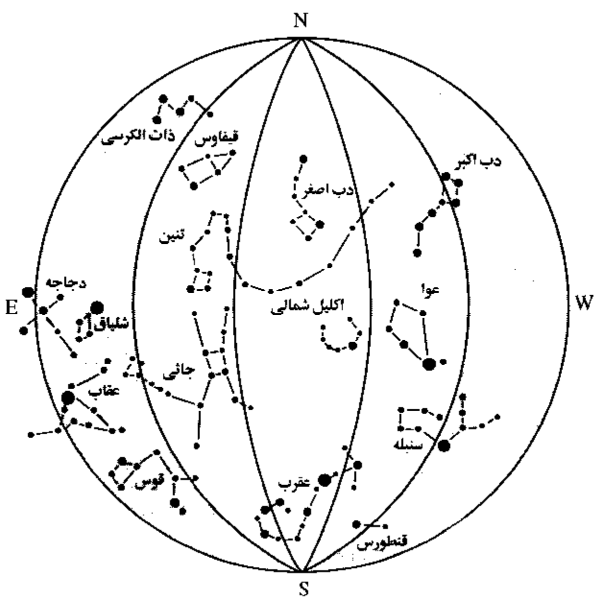
شکل ۵۴-۲ سنبله (دوشیزه). سماک اعزل با قدر ظاهری ۲ر۱، ستارهٔ پرنور این صورت است. در ایام باستان سِماک اَعزَل را ستارهٔ نیک‌بختی می‌دانستند و معابدی به افتخار آن بنا کرده بودند.

۵۵-۲ پیداکردن سنبله

از دستهٔ آب‌گردان و سِماک رامِح، به عنوان راهنما برای پیدا کردن سِماک اَعزَل استفاده می‌شود. قوس دستهٔ آب‌گردان چون تا سِماک رامِح امتداد یابد، به جانب سماک اعزل اشاره می‌کند.

۵۶-۲ صورت‌های فلکی تیرماه

صورت‌های فلکی عقرب (کژدم) و اِکلیل شمالی (کاسهٔ درویشان) - به شکل ۵٦-۲ نگاه کنید - در تیرماه از نصف‌النهار سماوی در اوایل شب می‌گذرند. اکلیل شمالی در نزدیکی سمت‌الرأس و عقرب نزدیک به افق جنوبی است. ستاره‌های عقرب به ظاهر نقش کژدمی را پدید می‌آورند و ستارگان اکلیل شمالی به نقش تاج می‌مانند.



شکل ٥٦-۲ صورت‌های فلکی تیرماه. اکلیل شمالی و عقرب در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان دیده می‌شوند. ستاره‌های ماه خرداد از نصف‌النهار گذشته اند و راهی افق غربی اند. ستارگان مردادماه در زمینهٔ سایه‌زده و ستارگان ماه شهریور در قسمت سایه‌زده تیره در سمت شرقی این خط جای دارند. به توضیح شکل ۳۴-۲ نگاه کنید.

۲-۵۷ ستاره‌های عقرب

ستارهٔ روشن آن، قلب‌العقرب، یکی از معدود ستاره‌های سرخ‌رنگ پرنور است. به شکل ۵۷-۲ نگاه کنید. قلب‌العقرب ستاره‌ای است غول‌پیکر که قطر آن تقریباً ۳۰۰ برابر قطر خورشید است.

شکل ۵۷-۲ عقرب (کژدم). عقرب یکی از دوازده صورت منطقة‌البروج است. خورشید در نیمهٔ اول آبان ماه در این صورت است. ستارهٔ روشن آن، قلب‌العقرب از قدر ظاهری ۲ر۱ است.



۲-۵۸ ستارهای اکلیل شمالی یا فَکّه (یاکاسه درویشان)

این صورت فلکی از هفت ستاره که نیم دایره‌ای را می‌سازند تشکیل شده است. به شکل ۵۸-۲ نگاه کنید. شش تا از هفت ستارهٔ اصلی از قدر چهارم اند. ستارهٔ میانی از قدر دوم و به نَیِرالفکه موسوم است. (اکلیل به معنی تاج و افسر است و نیرالفکه را مروارید تاج دانسته‌اند. م.).

شکل ۵۸-۲ اکلیل شمالی (کاسهٔ درویشان). ستارهٔ آلفای آن به نیرالفکه شهرت دارد.



۲-۵۹ اکلیل شمالی در اساطیر

افسانه چنین است که این تاج زمانی از آنِ آریادنهٔ[1] زیبا، همسر ته‌زئوس[2] بود. ته‌زئوس از آتنی‌هایی بود که باید قربانی مینتور[3] نیمه‌انسان- نیمه گاو خونخواری می‌شد که در دهلیز تودرتوی مشهوری در نزدیکی کرت، مسکن گزیده بود. ته‌زئوس با یاری آریادنه غول را کشت. آریادنه به محبوب خود یک شمشیر و قرقره‌ای نخ داد. ته‌زئوس به داخل دهلیز رفت و مأموریت خود را انجام داد. آنگاه به کمک نخ راه خود را به بیرون بازیافت و نجات پیدا کرد. اما داستان پایانی ناخوشایند دارد. ازدواج ته‌زئوس و آریادنه چندان نپائید. ته‌زئوس همسر خود را ترک گفت. رب‌النوع باکوس[4] برای دلداری آریادنه، تاجی به او هدیه کرد که بعد از مرگش در آسمان جای داده شد.

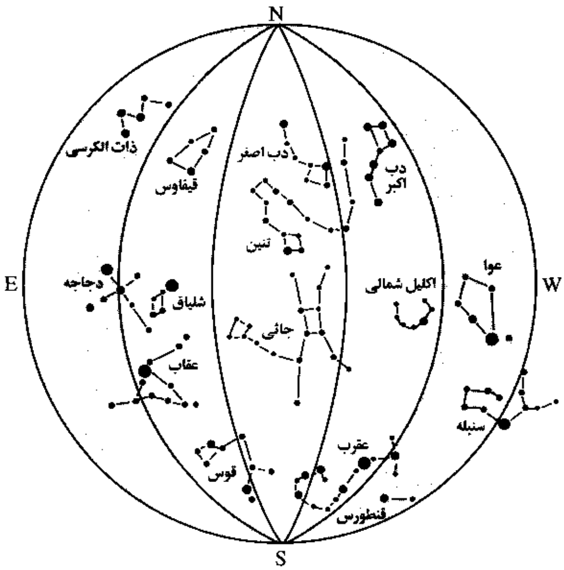
اجتماع ستارگان این صورت فلکی صرفاً محصول تصادف است. از این هفت ستاره، هیچ جفتی نیست که به یک سمت یا با یک سرعت حرکت کنند. دو ستارهٔ α (آلفا)- و β (بتا)- اکلیل شمالی در دو جهت مخالف حرکت می‌کنند و در پنجاه هزار سال گذشته تقریباً جای خود را عوض کرده‌اند. پنجاه هزار سال بعد از این دیگر این صورت فلکی هیچ شباهتی به تاج نخواهد داشت.

۲-۶۰ صورت‌های فلکی مردادماه

صورت جاثی (جاثی علیٰ رُکبتِه، زانوزده)- به شکل ۶۰-۲ نگاه کنید- بالای

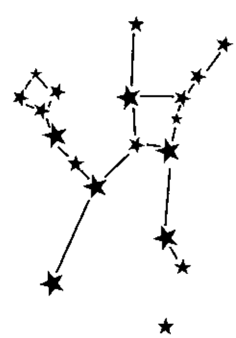
1- Ariadne
2- Theseus
3- Mintaur
4- Bachus

سر است. این صورت رد پای عوا و اکلیل شمالی را که اکنون دیگر از نصف‌النهار گذشته‌اند و راهی افق غربی هستند، دنبال می‌کند.



شکل ۶۰-۲ صورت‌های فلکی مردادماه. جاثی در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان است. صورت‌های فلکی تیرماه در قسمت سایه‌زدهٔ روشن و صورت‌های خرداد ماه در قسمت سایه زدهٔ تیره، در آسمان غربی اند. صورت‌های ماه شهریور، در قسمت سایه‌زدهٔ روشن و صورت‌های مهرماه در سایهٔ تیره در سمت مشرق نصف‌النهار قرار دارند. به توضیح شکل ۳۴-۲ نگاه کنید.

۶۱-۲ ستاره‌های صورت فلکی جاثی



شکل ۶۱-۲ جاثی(زانوزده). پرنورترین ستاره‌های این صورت فلکی از قدر سوم اند.

توجهی که به این صورت فلکی می‌شود به خاطر پرنوری ستاره‌های آن نیست. هیچ ستاره‌ای از قدر صفر، یک یا دو در این صورت فلکی وجود ندارد. چند ستارهٔ روشنی که ظاهراً شکل حرف H را پدید می‌آورند از قدر سوم اند. به شکل ۶۱-۲ نگاه کنید. اما به دو دلیل عمده جاثی شایان توجه است.

آ. این صورت در برگیرندهٔ یکی از زیباترین خوشه‌های کروی است. این خوشه‌ای است که عموماً با شمارهٔ آن در فهرست مه‌سیه، M۱۳ ، شناخته می‌شود و در شب‌های صاف بی‌مهتاب به سختی چون ستارهٔ محوی از قدر پنجم به چشم برهنه می‌آید. این لکهٔ ابرمانند چون با تلسکوپ بزرگ شود، به صورت خوشهٔ فشرده‌ای از ستارگان پدیدار می‌گردد.

بیش از ۵۰،۰۰۰ ستاره از ستاره‌های این خوشه به اندازهٔ کافی روشن اند که با تلسکوپ‌های موجود مشاهده شوند. ستاره‌هایی که نزدیک به مرکز خوشه‌اند به قدری مجتمع اند که آن‌ها را جدا از هم نمی‌توان شمارش کرد. عدهٔ ستارگان آن بالغ بر ۵۰۰،۰۰۰ برآورد شده است.

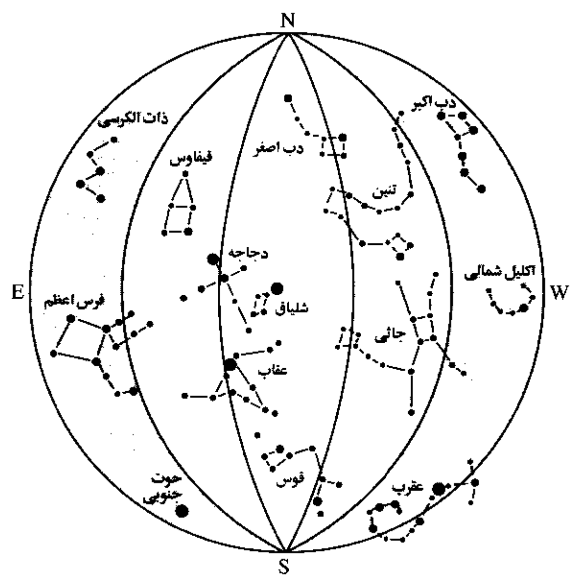
باید توجه داشت که این خوشه فقط به ظاهر در صورت جاثی است. در واقع به مراتب از ستارگان دیگر این صورت فلکی دورتر است. این خوشه

کروی ۳۴،۰۰۰ سال نوری از زمین فاصله دارد.

ب. جائی ناحیه‌ای از آسمان را شامل می‌شود که خورشید به سمت آن در حرکت است. خورشید، زمین و سیارات دیگر به صورت یک واحد با سرعت ۲۰ کیلومتر در ثانیه در فضا حرکت می‌کنند. در هر ثانیه، تمامی منظومهٔ شمسی ۲۰ کیلومتر به آن ناحیهٔ آسمان نزدیک‌تر می‌شود.

۲-۶۲ صورت‌های فلکی شهریورماه

نصف‌النهار باز هم انباشته از صورت‌های فلکی شگفت‌انگیز است. به شکل ۲-۶۲ نگاه کنید. شلیاق (چنگ رومی) و دجاجه (ماکیان) نزدیک سمت‌الرأس اند. قوس (کمان) نزدیک جنوب، بر افق است. عقاب در نیمه راه کمان و چنگ رومی است.

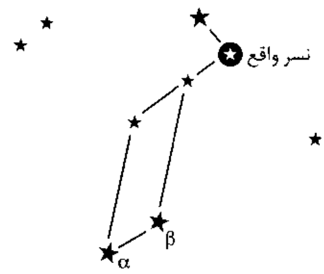


شکل ۲-۶۲ صورت‌های فلکی شهریور ماه. دجاجه، شلیاق، عقاب و قوس نصف‌النهار سماوی مکان را انباشته اند. اکلیل شمالی در ناحیه سایه‌زدهٔ تیره، در نزدیکی افق غربی است. فرس اعظم که نزدیک افق شرقی است، همراه با صورت‌های فلکی آبان ماه توضیح داده خواهد شد. به توضیح شکل ۲-۳۴ نگاه کنید.

۲-۶۳ ستاره‌های شلیاق یا چنگ رومی

روشن‌ترین ستارهٔ چنگ رومی، نسر واقع است. به شکل ۲-۶۳ نگاه کنید. ستاره‌ای از قدر صفرم که چهارمین ستارهٔ پرنور آسمان است. نسرواقع زمانی ستارهٔ قطبی زمین بود و ۱۲،۰۰۰ سال دیگر نیز ستارهٔ قطبی خواهد شد. محوری که زمین به دور آن می‌چرخد، مخروط مضاعف نوک تیزی را هر ۲۵،۸۰۰ سال یک بار طی می‌کند. این حرکت محور را حرکت تقدیمی گویند و به تفصیل دربخش ۷-۱۳ بحث شده است. محور زمین در حال

شکل ۶۳-۲ شلیاق (چنگ رومی). نسر واقع ستارهٔ پرنور آن از قدر ۱ر۰ است. نسرواقع نخستین ستاره‌ای بود که در ۱۸۵۰ از آن عکس گرفته شد.



حاضر متوجه به α (آلفا)-دب اصغر است. در سال ۱۴،۰۰۰ بعد از میلاد بار دیگر به سوی نسر واقع خواهد بود.

ستارهٔ دیگر این صورت فلکی که در خور توجه است، β (بتا)- شلیاق است. قدر ظاهری این ستاره هر ۹ر۱۲ روز تغییر می‌کند. دامنهٔ این تغییر قدر از ۴ر۳ تا ۳ر۴ است. این تغییرات را می‌توان با چشم برهنه رصد کرد، به این ترتیب که β(بتا)- شلیاق را با ستارهٔ مجاور آن γ(گاما)- شلیاق مقایسه کرد. در روشن‌ترین حالت β(بتا) تقریباً به روشنی γ(گاما) با قدر ظاهری ۳ر۳ است و در کم‌نورترین حالت بسیار کم‌فروغ‌تر است.

۶۴-۲ افسانه‌های مربوط به چنگ رومی

صورت فلکی شلیاق، به طور نمادی، چنگی را نشان می‌دهد که آپولو به ارفئوس داد. ارفئوس در زمان خود شهرت داشت که می‌تواند اشیاء جاندار و بی‌جان را مسحور موسیقی خود کند.

ژوپیتر، پس از مرگ ارفئوس، چنگ سحرآمیز او را بر آسمان نهاد.

۶۵-۲ ستاره‌های دَجاجه

دَجاجه (ماکیان) را صلیب شمالی نیز گفته‌اند. به شکل ۶۵-۲ نگاه کنید. ماکیان را معمولاً چون پرنده‌ای تصویر می‌کنند که به سمت جنوب در پرواز است و دم آن با ذنب‌الدجاجه، پرنورترین ستارهٔ آن مشخص می‌شود. اگر آن را صلیبی تصور کنیم، به سوی شمال است و ذنب‌الدجاجه، ستاره‌ای با قدر ۳ر۱، در رأس آن جای دارد. (ذنب‌الدجاجه را به اختصار ذنب هم می‌گویند؛ نام دیگر آن رِدف است.)

شکل ۶۵-۲ دَجاجه(ماکیان). این صورت فلکی را به انگلیسی صلیب شمالی هم گفته‌اند. در این شکل ستارگانی که از قدر چهارم و یا پرنورتر اند نشان داده شده است.



راه سفید کاهکشان را می‌توان در زمینهٔ این صورت فلکی دید.

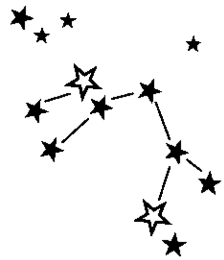
۶۱- دجاجه ستارهٔ دیگری است در صورت دَجاجه که اهمیت تاریخی دارد. این نخستین ستاره‌ای است که فاصلهٔ آن اندازه‌گیری شده‌است. سال‌های سال گمان می‌شد که ۶۱- دجاجه به فاصلهٔ ۱ر۱۱ سال نوری، نزدیک‌ترین همسایهٔ منظومهٔ شمسی است. اندازه‌گیری‌های بعدی نشان داد که چندین ستارهٔ دیگر از جمله α (آلفا)- قنطورس و شعرای یمانی بسیار نزدیک‌تر اند.

۶۶-۲ ستاره‌های قوس یا کمان (رامی)

قوس(کمان)، شکل ۶۶-۲، ستارهٔ بسیار پرنوری ندارد. خطی که از خورشید به قوس کشیده شود، سمت مرکز کهکشان ما را نشان می‌دهد. پرنورترین

قسمت راه کاهکشان را در این ناحیهٔ آسمان می‌توان دید.

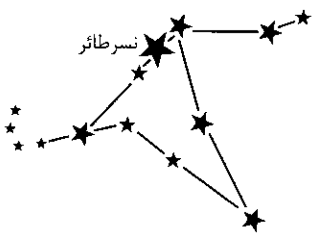
شکل ٦٦-٢ قوس (رامی)



۲-۶۷ ستاره‌های عقاب

عقاب (آکویلا[1]) که گانیمید[2] را به کوه المپ برد تا ساقی ژوپیتر گردد، نسر طائر را به عنوان پرنورترین ستارهٔ خود دارد. به شکل ٦٧-٢ نگاه کنید. نسر طائر نسبتاً به زمین نزدیک است- فاصلهٔ آن فقط ۱۴ سال نوری (۱۳۰ تریلیون کیلومتر) است. عقاب، در سال ۱۹۱۸ جلب توجه بسیار کرد، زیرا ستارهٔ درخشانی که قدر ظاهری آن به ۴ر۱- رسید و سپس به سرعت تلالؤ خود را از دست داد در این صورت فلکی ظاهر شد. این ستاره اکنون منزلت ستارهٔ کم‌سویی از قدر ۱۲ را یافته است.

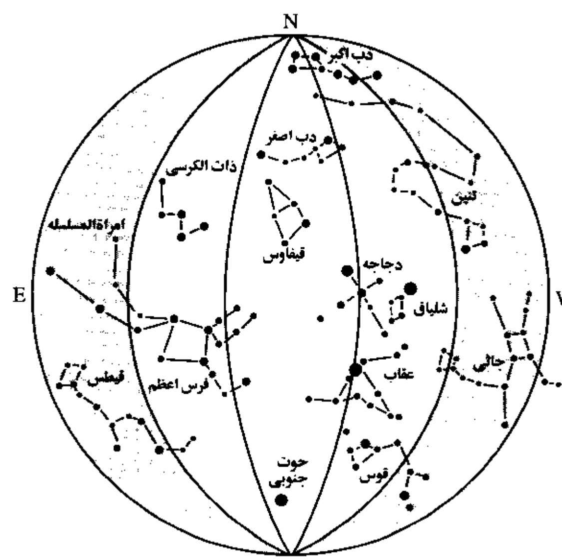
شکل ٦٧-٢ عقاب



۲-۶۸ صورت‌های فلکی مهرماه

قیفاوس، صورت فلکی دورقطبی، اینک بر تارک آسمان است. نصف‌النهار سماوی آن را به دو نیم می‌کند.

حوت جنوبی (ماهی جنوبی)، صورت فلکی دیگری که نزدیک به نصف- النهار است، شایستهٔ توجه است. به شکل ٦٨-٢ نگاه کنید.



شکل ٦٨-٢ صورت‌های فلکی مهرماه. قیفاوس وحوت جنوبی در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان اند. مناطقی که سایهٔ روشن دارند، ستاره‌های شهریور و آبان را مشخص می‌کنند. مناطقی که سایهٔ تیره دارند، ستارگان مرداد و آذر را نشان می‌دهند. نگاه کنید به توضیح شکل ٣۴-٢.

1- Aquila

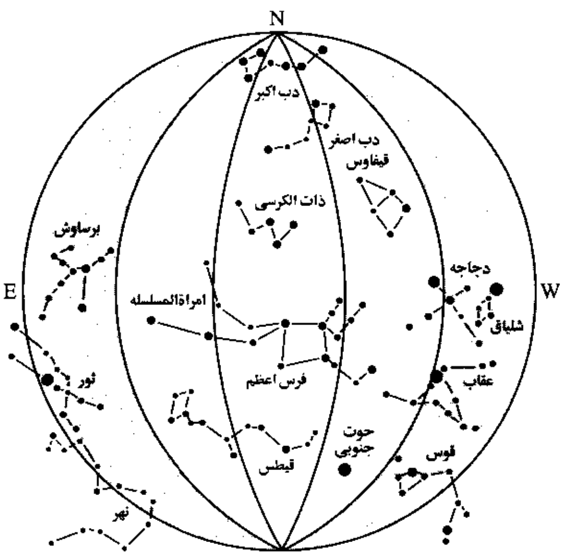
2- Ganymede

۲-۶۹ ستاره‌های حوت جنوبی

فَمُ‌الحوت، ستاره‌ای است از قدر اول و نه تنها پرنورترین ستارهٔ این صورت که پرنورترین ستارهٔ این ناحیه از آسمان است. فم‌الحوت یکی از چهار ستارهٔ شاهی در احکام نجوم بود (سه ستارهٔ دیگر قلب‌الاسد، قلب‌العقرب و دبران بودند). در احکام نجوم قدیم، فم‌الحوت نشانهٔ قدرت و اعتبار تصور می‌شد.

۲-۷۰ صورت‌های فلکی آبان ماه

اینک، ذات‌الکرسی بر فرق آسمان، در نزدیکی نصف‌النهار سماوی جای دارد. به شکل ۲-۷۰ نگاه کنید. فَرَس (اسب بالدار) نیز در امتداد نصف‌النهار است.



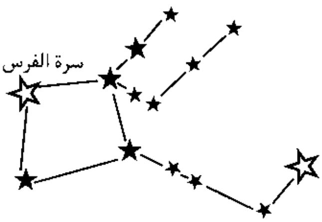
شکل ۲-۷۰ صورت‌های فلکی آبان ماه. ذات‌الکرسی و فرس‌اعظم در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان قرار دارند. صورت‌های فلکی شهریور در حوالی افق غربی، در منطقهٔ سایه‌خوردهٔ تیره اند. ثور و برساوش در منطقهٔ سایه خورده تیره در نزدیکی افق شرقی قرار دارند. نگاه کنید به توضیح شکل ۲-۳۴.

۲-۷۱ ستاره‌های فَرَس اعظم

این صورت فلکی را معمولاً از روی مربع بزرگ آن می‌شناسند. به شکل ۲-۷۱ نگاه کنید. فقط سه ستاره از ستاره‌هایی که مربع را تشکیل می‌دهند، به فرس تعلق دارد. ستاره‌ای که در گوشه شمال شرقی است، سُرَّةالفَرَس، به صورت فلکی اِمرَاَةالمسلسله تعلق دارد. اسب بالدار که اسب پرنده هم خوانده شده و معمولاً واژگونه در آسمان تصویر می‌شود، اسبی را نشان می‌دهد که

پرسئوس (برساوش) به هنگام نجات آنـدرومدا[1] (اِمـرأةالمسـلسله) از حـملهٔ اژدهای دریایی، بر آن سوار بود.

شکل ۷۱-۲ فرس اعظم.



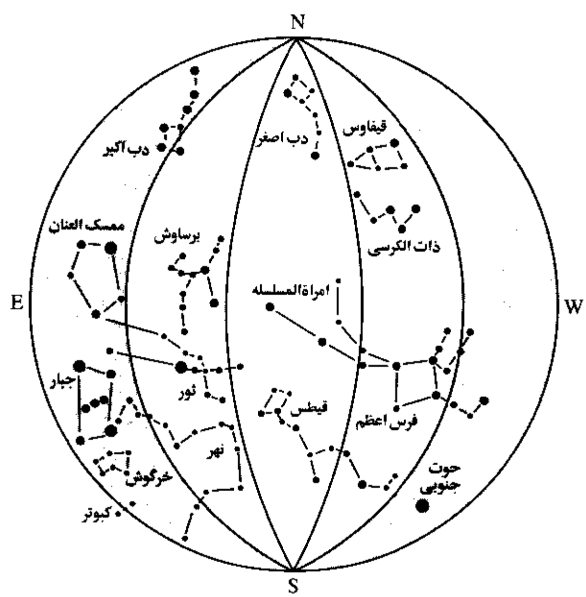
۷۲-۲ پیداکردن فَرَس اعظم

سُرَّةالفرس، ستاره‌ای راکه بر گوشهٔ شمال شرقی مربع است، می‌توان با رسم خطی از جدی به کف خضیب، β (بتا)- ذات‌الکرسی، و امتداد آن به فاصلهٔ برابر پیدا کرد.

۷۳-۲ صورت‌های فلکی آذرماه

اِمرأةالمسلسله (زن به‌زنجیربسته)، فـرس اعـظم را در آسـمان دنـبال مـی‌کند. اِمرأةالمسلسله از فَرَس اعظم به سمت‌الرأس نزدیک‌تر است.

صورت فـلکی جـالب‌توجه دیگـری کـه در نـصف‌النـهار است، قَـیطُس (نهنگ) است که در حدود °۳۰ بالاتر از افق جنوبی است.



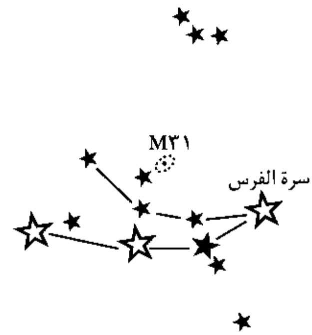
شکل ۷۳-۲ صورت‌های فلکی آذرماه. اِمـرَأةالمسـلسله و قَـیطُس در نـزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان جـای دارنـد صورت‌های فلکی آبان‌ماه در زمینهٔ سایه خوردهٔ روشن و صور فلکی مهرماه در زمینهٔ سایه‌خوردهٔ تیره در بـخش غـربی آسمان قرار دارند. صـورت‌های فـلکی دی‌ماه در زمینهٔ سـایه‌خوردهٔ روشـن و صورت‌های فلکی بهمن‌ماه در زمینهٔ تیره در سمت شرقی نصف‌النهار انـد. نگـاه کنید به توضیح شکل ۳۴-۲.

۷۴-۲ ستاره‌های اِمرَأةالمُسَلسَله

قدر ظاهری سُرَّةالفرس پرنورترین ستارهٔ این صورت فلکی (به شکل ۷۴-۲ نگاه کنید) ۱ر۲ است. در دسته‌بندی ستارگان بایر[2] α (آلفا)- اِمرأةالمسلسله

1- Andromeda
2- Bayer

شکل ۷۴-۲ اِمرَأةالمسلسله (زن به زنجیر بسته). سرةالفرس، رأس اِمرَأةالمسلسله را مشخص می‌کند.



نامیده شده است. آنچه در این قسمت آسمان شایان توجه بسیار است شیئی است که نام علمی آن M۳۱ یا NGC۲۲۴ است و در نزدیکی ν (نو)- اِمرَأةالمسلسله جای دارد. به چشم برهنه به صورت ستارهٔ ابرمانندی از قدر پنجم می‌آید؛ به سرشت واقعی آن فقط به کمک تلسکوپی نیرومند می‌توان پی‌برد. M۳۱ کهکشانی است کاملاً شبیه به کهکشان‌ما. این کهکشان از بیلیون‌ها ستاره تشکیل شده و اندکی از کهکشان ما بزرگ‌تر است، دورترین شیئی است در فضا که با چشم برهنه می‌توان دید. نوری که کهکشان بزرگ اِمرَأةالمسلسله را ترک کند، پس از سفری ۰۰۰، ۰۰۰، ۲ ساله در فضا به ما می‌رسد.

۷۵-۲ اِمرَأةالمسلسله (آندرومدا) در اساطیر

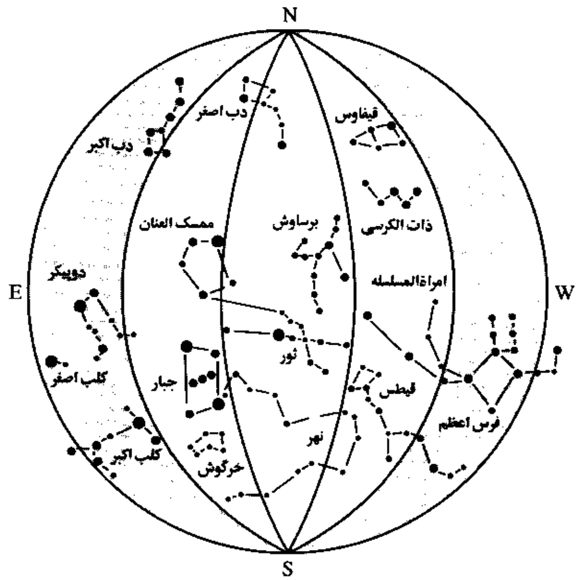
آندرومدا دختر زیبای کفئوس (قیفاوس) و کاسیوپیه (ذات‌الکرسی) پریان دریایی را از خودخواهی بیش از اندازه‌اش به خشم آورد. نپتون، برای تنبیه وی، او را به صخره‌ای در کنارهٔ دریا زنجیر کرد تا شکار اژدهایی دریایی شود که در آن هنگام ساحل دریا را عرصهٔ تاخت و تاز خود کرده بود. درست در همان لحظه‌ای که اژدها به آندرومدا حمله آورده بود، پرسه‌ئوس (برساوش) با جادو غول را به سنگ بدل کرد و آندرومدا را نجات داد.

۷۶-۲ صورت‌های فلکی دی‌ماه

در این ماه برساوش (برندهٔ سر غول)، ثور (نرگاو) و نهر در نزدیکی نصف‌النهار اند. به شکل ۷٦-۲ نگاه کنید. برساوش را در نزدیکی سمت‌الرأس می‌توان دید، ثور را در جنوب شرقی آن؛ نهر منطقهٔ وسیعی از آسمان جنوبگان را می‌پوشاند. ارابه‌ران و جبارِ شکارچی، در شرق نصف‌النهار جای دارند. دور تازه‌ای از حرکت جمعی ستارگان قریباً آغاز می‌شود.

۷۷-۲ ستاره‌های برساوش

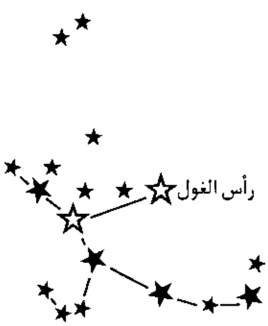
ستارهٔ واقعاً پرنوری در برساوش وجود ندارد. اما ستارهٔ β (بتا)- برساوش شایان توجه است. به شکل ۷۷-۲ نگاه کنید. ستاره‌ای است گرفتی (کسوفی). β (بتا)- برساوش که آن را رأس‌الغول (سر غول) نیز خوانند در واقع از دو ستاره با روشنی نابرابر تشکیل شده است که به فاصلهٔ ۱۸ میلیون کیلومتر از یکدیگر به دور گرانیگاه مشترک‌شان می‌گردند. صفحهٔ مدار آن‌ها با شعاع دید از زمین زاویهٔ 8° می‌سازد. هر دو روز و ۲۱ ساعت یک بار ستارهٔ کم‌سوتر، ندیم پرنورتر خود را منکسف می‌کند و روشنی ظاهری مجموع به



شکل ۷۶-۲ صورت‌های فلکی دی‌ماه. برساوش، ثور و نهر در نزدیکی نصف‌النهار سماوی اند. در حوالی افق غربی در زمینهٔ سایه‌خوردهٔ تیره، صورت‌های فلکی آبان ماه، جای دارند و در نزدیکی افق شرقی، باز هم در زمینهٔ سایه‌خوردهٔ تیره صورت‌های فلکی ماه اسفند. به توضیح شکل ۳۴-۲ نگاه کنید.

یک سوم مقدار عادی کاهش می‌یابد، یعنی از قدر ظاهری ۲ر۲ به قدر ظاهری ۵ر۳. گرفت ندیم کم‌نورتر توسط ستارهٔ پرنور فقط کاهش اندکی را در روشنی سبب می‌شود.

شکل ۷۷-۲ برساوش



۷۸-۲ ستاره‌های ثور

صورت فلکی زیبای ثور از آن رو مشهور است که خوشهٔ پروین بخشی از آن را تشکیل می‌دهد. به شکل ۷۸-۲ نگاه کنید. خوشهٔ پروین مجموعه‌ای از هفت ستاره است که شکل آب‌گردانی کوچک را می‌سازد. بر طبق اساطیر، پلیادها (خوشهٔ پروین) هفت خواهر اطلس نیرومند بودند که اریون (جبار) به دنبال‌شان بود و برای نجات از دست وی، به صورت هفت کبوتر درآمدند.

قلائص، مجموعهٔ دیگری در ثور است. گاه قلائص را چنان رسم می‌کنند که سر گاو را تصویر کند و خوشهٔ پروین شانه‌های آن باشد.

دَبَران ستارهٔ تابناک سرخ‌رنگی از قدر اول است که همواره آن را در چشم گاو جای داده‌اند. دبران به عربی به معنای «دنباله‌رو» است. او در آسمان پروین را دنبال می‌کند.

شکل ۷۸-۲ ثور(نرگاو). قلائص و خوشهٔ پروین هر دو خوشه‌های ستاره‌ای باز اند. درخوشهٔ پروین چند صد ستاره وجود دارد.



۷۹-۲ ستاره‌های نهر

نهر یکی از درازترین صورت‌های آسمان است. در تاریخ اقوام، آن را پادشاه رودها، رود اردن، رود نیل و در ایام اخیر رود پو نامیده‌اند.

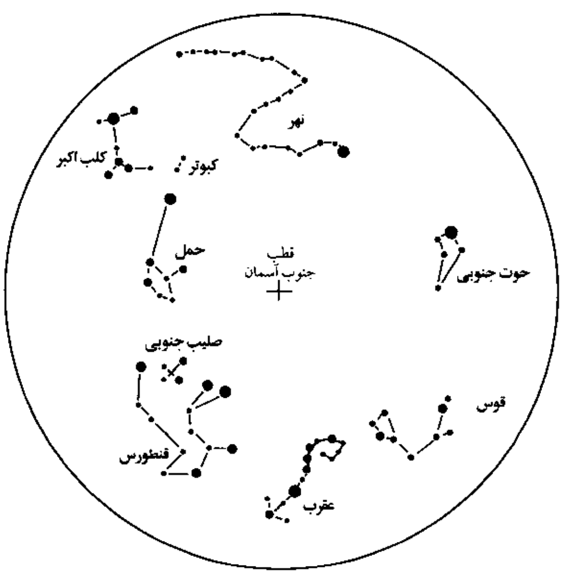
سرچشمهٔ رودخانه، ستارهٔ β (بتا)- نهر است که به فاصلهٔ چند درجه از رِجل‌الجبّار در سمت شمال غربی آن قرار دارد. این صورت فلکی از اینجا شروع می‌شود و با پیچ و تاب، قَیطُس (نهنگ) را پشت سر می‌گذارد و طول کل آن °۱۳۰ است.

آخرالنَّهر، ستارهٔ قدر اول نهر را در عرض‌های جغرافیایی میانه نمی‌توان مشاهده کرد. این ستاره فقط °۳۳ تا قطب جنوب آسمان فاصله دارد و هرگز برای ناظرانی که در بیش از °۳۳ عرض شمالی ساکن اند، طلوع نمی‌کند.

قسمت چهارم: ستارگان دورقطبی جنوبی

۸۰-۲ مقدمه

این قسمت به ستاره‌هایی مربوط می‌شود که برای رصدکنندگان عرض‌های جغرافیایی میانه همیشه زیر افق‌اند. آن‌ها را ستارگان دورقطبی جنوبی می‌نامند و از نیم‌کرهٔ جنوبی زمین قابل‌رؤیت اند و بهترین جا برای رصد کردن آن‌ها در استرالیا، افریقای جنوبی یا امریکای جنوبی است. به شکل ۸۰-۲ نگاه کنید.



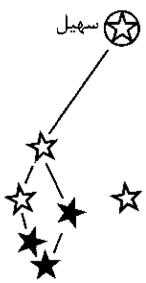
شکل ۸۰-۲ ستارگان دورقطبی جنوبی. در نزدیکی قطب جنوب آسمان هیچ ستارهٔ روشنی وجود ندارد. در اینجا فقط صورت‌هایی مشخص شده‌اند که آشناتر اند. ستاره‌های قدر سوم و پرنورتر نشان داده شده‌اند. ستاره‌های قدر چهارم تنها در صورتی مشخص شده‌اند که جزء الگوی متداولی باشند که به صورت فلکی نسبت داده می‌شود. اندازه هر نقطه نشان دهندهٔ روشنی ستاره است.

سه صورت فلکی زیبا، آسمان «زیرپا» را می‌آرایند. حمّال کشتی (کارینا) یکی از این سه صورت است؛ صلیب جنوبی، صورتی که سخت مورد توجه اهالی استرالیا و زلاند نو است یکی دیگر است؛ صورت سوم قنطورس است که در فهرست روشن‌ترین بیست ستارهٔ آسمان، دوبار از آن یاد می‌شود.

۲-۸۱ ستاره‌های صورت فلکی حمّال

ستارهٔ α (آلفا)- حمال، سهیل، دومین ستارهٔ درخشان آسمان است. قدر ظاهری آن ۹ر ۰- است که با ٦ر ۱- قدر شعرای یمانی پرنورترین ستاره آسمان قابل‌قیاس است. سهیل را در شب‌های زمستان در جنوبی‌ترین نواحی ایران می‌توان دید. این ستاره تقریباً همزمان با شعرای یمانی از نصف‌النهار سماوی مکان می‌گذرد. به شکل ۸۱- ۲ نگاه کنید.

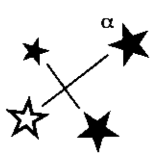
شکل ۸۱-۲ حمال. برخی از منجمان حمال را بخشی از صورت دیگری به نام سفینه می‌شمرند.



۲-۸۲ ستاره‌های صلیب جنوبی

صلیب جنوبی را عموماً زیباترین صورت آسمان می‌دانند. جمع‌وجور بودن این صورت فلکی روشنی چهار ستارهٔ آن را بسی بیشتر می‌کند. ستارهٔ α(آلفا)- صلیب تقریباً به روشنی اِبطالجوزا است. آن را یا با نام علمی آن α(آلفا)- صلیب می‌شناسند و یا فقط با نام صلیب. به شکل ۸۲- ۲ نگاه کنید. این ستاره‌ها را در بیشتر نقاط ایران نمی‌توان دید؛ ممکن است در وضعیتی که بیشترین ارتفاع را از افق دارند، در جنوبی‌ترین نواحی خاوری ایران قابل رؤیت باشند.

شکل ۸۲-۲ صلیب جنوبی



رؤیت صلیب تجربه‌ای به یاد ماندنی است: زمینهٔ آن، نواری از روشنائی کم‌سوی راه کاهکشان، زیبائی این صورت را دوچندان می‌کند.

اما صلیب جنوبی برای عکسبرداری چندان مناسب نیست. ستارگان سمت راست و بالای صلیب رنگ مایل به زرد دارند و در عکس کم‌سو به نظر می‌رسند. در نتیجه عکس گرفته شده شباهت چندانی به صلیب نخواهد داشت.

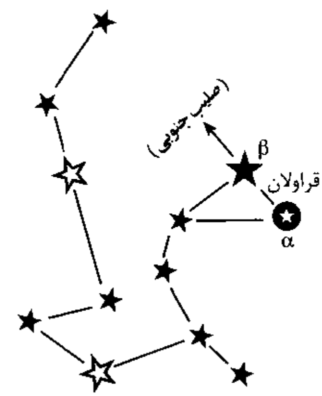
سه ستاره از چهار ستاره‌ای که صلیب جنوبی را می‌سازند، همراه با عده‌ای از ستاره‌های کم‌سوتری که نزدیک آن اند خوشه‌ای را تشکیل می‌دهند. این ستاره‌ها همگی تقریباً به یک فاصله از منظومهٔ شمسی اند. آن‌ها با سرعت متوسط ۲۴ کیلومتر در ثانیه، از ما دور می‌شوند و مسیرهائی موازی هم را می‌پیمایند. این ستاره‌ها از حیث مشخصات فیزیکی نیز شبیه یکدیگر اند، همگی بسیار سوزان، در زمرهٔ سوزان‌ترین ستاره‌های شناخته شده اند.

بسیار محتمل است که منشاء ستاره‌های این خوشه، مشترک باشد. مطابق این نظریه همگی در گذشتهٔ دور از «تودهٔ» مادی واحدی تکوین یافته‌اند. با گذشت

زمان بر اثر سرعت‌های کمی که نسبت به یکدیگر داشته‌اند از هم جدا شده، الگوی کنونی را پدید آورده‌اند، الگوی ستاره‌های منفردی که پیوسته در امتداد خطوطی موازی هم از منظومهٔ شمسی دور می‌شوند.

۲-۸۳ ستاره‌های قنطورس

شکل ۲-۸۳ قنطورس، چون خط واصل α و β ادامه یابد، به صلیب جنوبی می‌رسد.



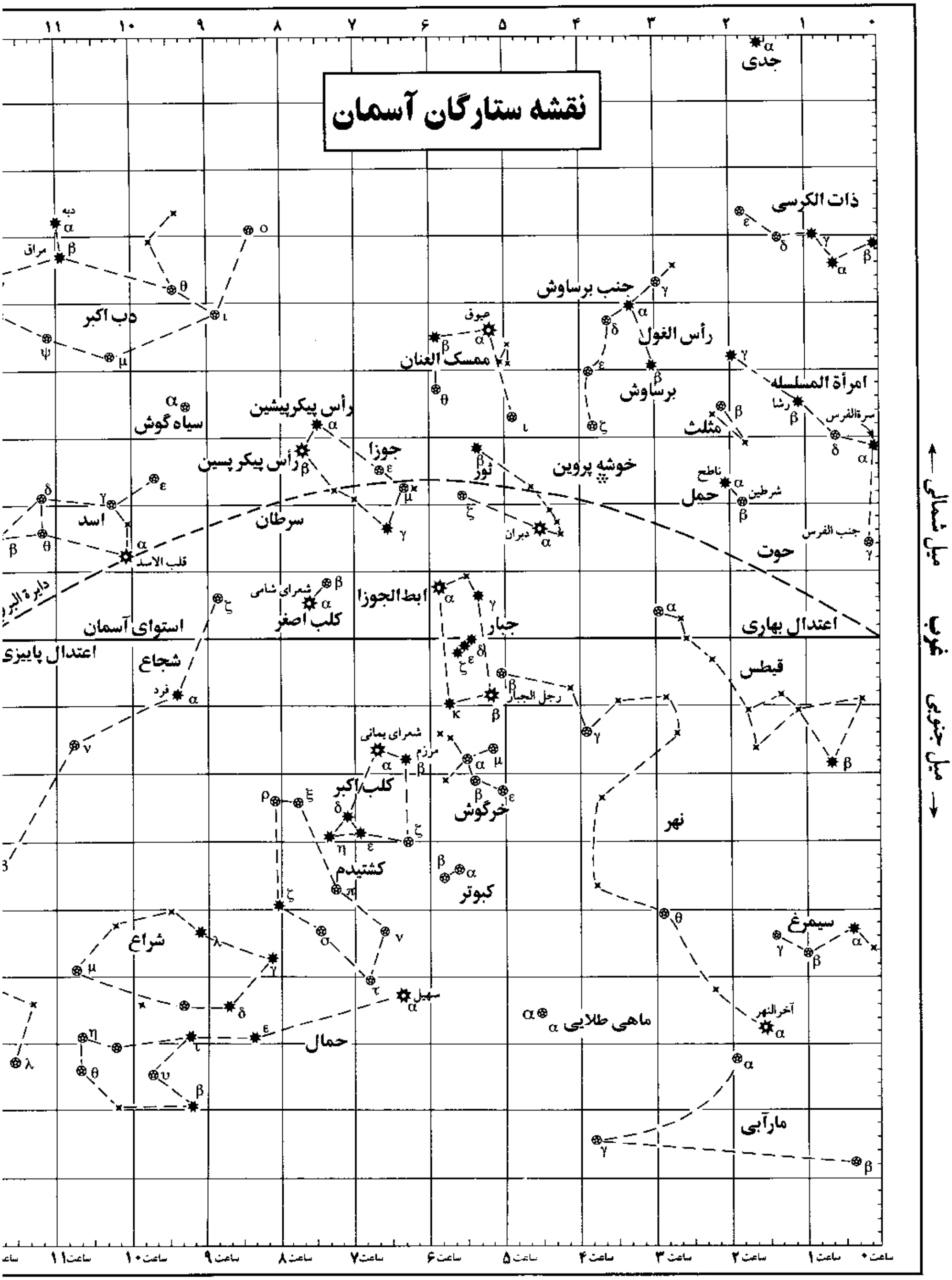
قدر ظاهری α (آلفا)- و β (بتا)- قنطورس هر دو از ۱ کمتر است. این تنها وجه تمایز این دو ستاره نیست. α- قنطورس نزدیک‌ترین همسایهٔ اختری ماست. فقط $\frac{1}{۲}$ ۴ سال نوری از ما فاصله دارد. ستارهٔ قدر اول α (آلفا)قنطورس را چون با تلسکوپ بنگریم، ستارهٔ سه گانه‌ای را می‌بینیم. معلوم می‌شود که آنچه را چشم برهنه به صورت یک ستاره می‌بیند، دو ستارهٔ پرنور نزدیک به هم و یک ستارهٔ کم‌نور به فاصله ۲' از این جفت روشن است. مؤلفهٔ کم‌نور که پروکسیمای قنطورس نام دارد، هریک میلیون سال یک بار به دور جفت خود می‌گردد. پروکسیما اندکی از جفت روشن به زمین نزدیک‌تر است و همین وجه تسمیهٔ آن است. (پروکسیموس در لاتینی به معنی نزدیک‌ترین است.م.).

نزد دریانوردان سراسر جهان α (آلفا)- قنطورس با نام رجل قنطورس، «پای قنطورس»، شهرت دارد.

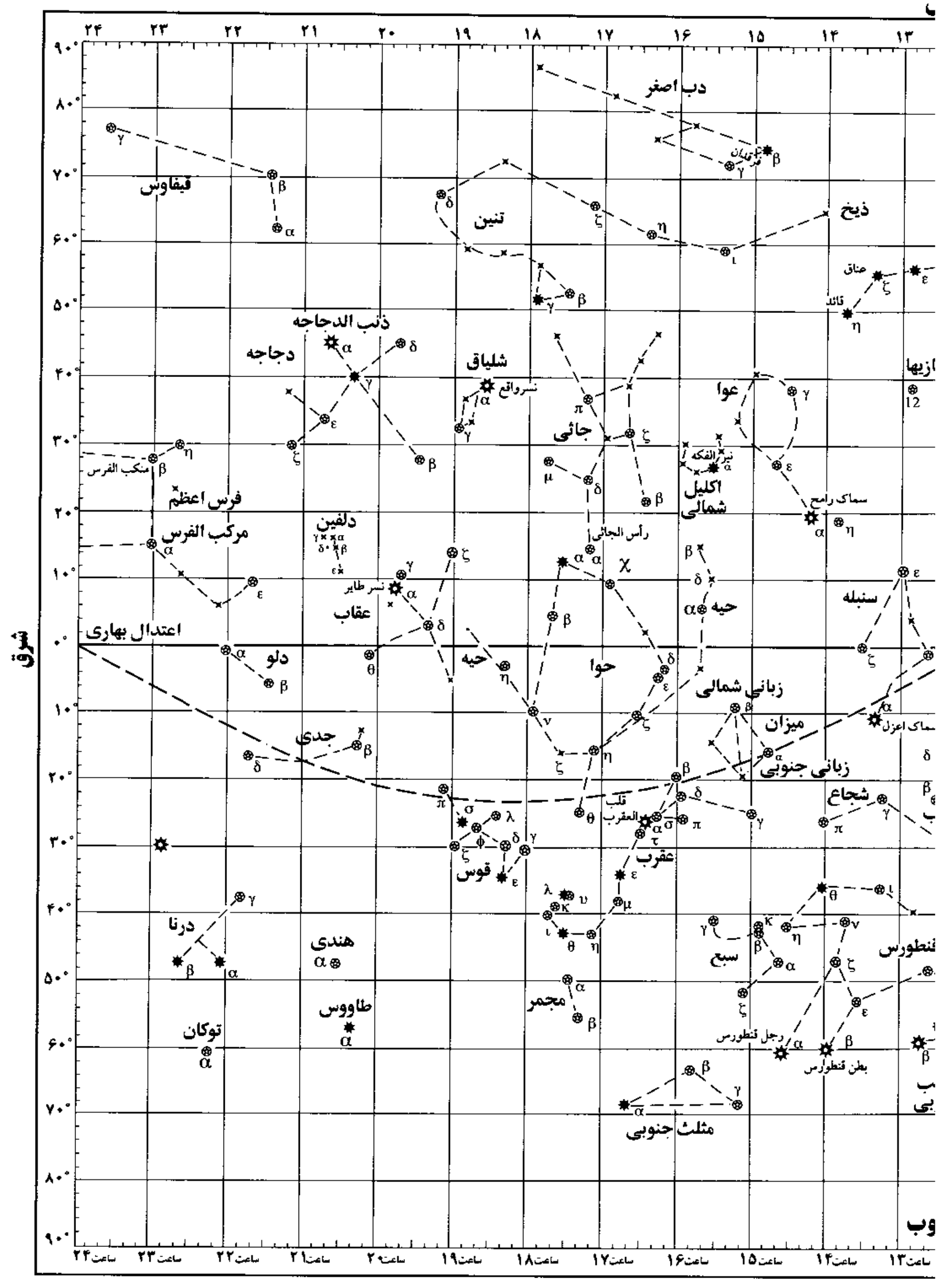
به فاصلهٔ چند درجه از α (آلفا)- قنطورس، β (بتا) قرار دارد. این دو ستاره قراولان نیمکرهٔ جنوبی اند. خطی که از α و β می‌گذرد به شمالی‌ترین ستارهٔ صلیب جنوبی اشاره می‌کند. به شکل ۸۳-۲ نگاه کنید.

نزدیکی β (بتا)- قنطورس به α صرفاً ظاهری است. ستارهٔ β در حدود ۵۰ بار از ستارهٔ α دورتر است. فاصلهٔ β (بتا)- قنطورس از ما بیش از ۱۹۰ سال نوری است.

بعد (زمان نجومی)



راهنمای قدرستارگان : ✡ اول ✱ دوم ⊛ سوم × چهارم · پنجم



* برای توجیه این نقشه باستارگان آسمان ، نقشه را طوری بالای سرخود بگیرید ، که شمال نقشه باسمت شمال ، غرب باسمت غرب ، و . . . منطبق گردد .

* هنگامیکه روبه جنوب ایستاده اید، نقشه خواناست وموقعی که روبه سمت شمال ایستاده اید ، اسامی صورتهای فلکی وستارگان ، وارونه است .

فصل ۳

اصول پیمایش

۳-۱ مقدمه

ستارگان دارای نشانی اند. مکان هر ستاره با یک جفت عدد که فقط به آن ستاره مربوط است، مشخص می‌شود. یکی از این دو عدد زاویهٔ ساعتی نجومی ستاره نام دارد و دیگری میل ستاره نامیده می‌شود. در مورد نسر واقع این اعداد ۸۱ و ۳۹ اند. زاویهٔ ساعتی نجومی و میل صلیب به ترتیب ۱۷۴ و ۳۶- است.

گوشزد: این نشانی‌ها باگذشت زمان، به‌کندی بسیار تغییر می‌کند. از این رو، اگر بخواهیم دقیق باشیم، باید تاریخی راکه ستاره دارای زاویه ساعتی نجومی و میل خاصی بوده است، مشخص کنیم. این تاریخ را دوره می‌نامند. تغییرات اندک این ارقام در نتیجهٔ پدیده‌ای است موسوم به *«تقدیم اعتدالین»* که خود از حرکت تقدیمی محور زمین حاصل می‌شود. بر اثر این پدیده، نقطهٔ اعتدال بهاری، نقطه‌ای که زاویهٔ ساعتی نجومی از آن اندازه گرفته می‌شود، پیوسته به سمت مغرب تغییر مکان می‌دهد. زاویهٔ ساعتی نجومی و میل ستارگان و اجرام آسمانی دیگر در جداول و تقویم‌های نجومی گوناگون فهرست شده است. American Nautical Almanac در زمرهٔ این جداول است که هر ساله به منظور تأمین اطلاعات نجومی برای دریانوردان توسط رصدخانهٔ نیروی دریایی ایالات متحده منتشر می‌شود.

راه مشخص کردن مکان بر کرهٔ آسمان در هر دوره، شبیه روش تعیین موضع بر سطح زمین است. در دستگاه مربوط به ستارگان، ستاره‌ها بر سطح داخلی کرهٔ آسمان جای گرفته‌اند؛ در مورد زمین شهرها، شهرک‌ها و کوه‌ها بر سطح خارجی کرهٔ زمین قرار دارند.

اعدادی که مکان را بر سطح زمین مشخص می‌کنند، طول و عرض

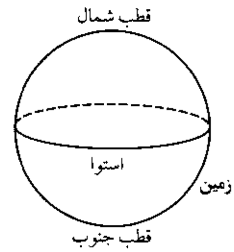
جغرافیایی نامیده می‌شوند. مثلاً طول و عرض جغرافیایی شهر تهران به ترتیب ۵۱° E و ۳٦° N است.

طول و عرض جغرافیایی را بر سطح زمین به کمک دو دسته دایره تعیین می‌کنند، دایره‌هایی خیالی که به نصف‌النهارها و مدارهای عرض جغرافیایی موسوم اند.

دایره‌های مشابهی نیز بر کرهٔ آسمان رسم می‌شود که آنها را اغلب دایره‌های ساعتی و مدارهای میل می‌خوانند. فهم این دستگاه دوایر، هم بر سطح کرهٔ زمین و هم بر کرهٔ آسمان ضروری است.

۲-۳ مدارات عرض جغرافیایی

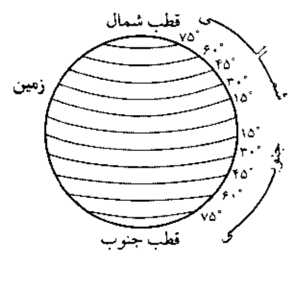
شکل(آ) ۲-۳ استوا زمین را به دو نیمکره تقسیم می‌کند.



نقاطی که بر سطح زمین در نیمه راه قطب شمال و قطب جنوب واقع اند، استوای کره را تشکیل می‌دهند. بنابراین استوا زمین را به دو نیمکرهٔ شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. نگاه کنید به شکل(آ) ۲-۳. هر نیمکره را می‌توان با رسم دوایری به موازات استوا، که مدارهای عرض جغرافیایی نامیده می‌شوند به تقسیماتی فرعی تقسیم کرد. این مدارها با ارقامی مشخص می‌شوند که در نیمکرهٔ شمالی از صفر در استوا شروع شده و به ۹۰° N در قطب شمال خاتمه می‌یابد. مدارهای عرض جغرافیایی در نیمکرهٔ جنوبی با علامت S مشخص می‌شوند. به این ترتیب عرض جغرافیایی قطب جنوب ۹۰° S است.

مدارهای عرض جغرافیایی برای بیان فاصلهٔ زاویه‌ای هر نقطه از استوا برحسب درجه، به‌کار می‌رود. به شکل (ب) ۲-۳ نگاه کنید. این فاصله را عرض جغرافیایی آن نقطه می‌خوانند - به این ترتیب عرض جغرافیایی جزیرهٔ هرمز ۲۷° N، تهران ۳٦° N و پاریس در فرانسه ۴۹° N است. این مطلب را به این طریق نیز می‌توان بیان کرد که زاویه‌ای که این نقاط در مرکز زمین با استوا می‌سازند به ترتیب ۲۷، ۳٦ و ۴۹ درجه است. عرض جغرافیایی تا نزدیک‌ترین درجه بیان می‌شود. وقتی دقت بیشتر مورد نظر باشد این زوایا را برحسب درجه، دقیقه و ثانیهٔ قوس بیان می‌کنند. رقم دقیق‌تر عرض جغرافیایی تهران ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه و ۲۰ ثانیه قوس است که به طور خلاصه‌تر چنین نوشته می‌شود، ''۲۰ '۴۱ °۳۵.

شکل (ب) ۲-۳ مدارات عرض جغرافیایی. این مدارها فاصلهٔ زاویه‌ای از استوا را مشخص می‌کنند.



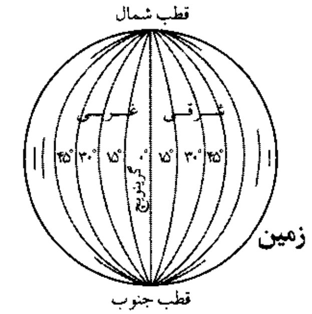
۳-۳ نصف‌النهارها

دستهٔ دیگر از دوایری که معمولاً بر کره رسم می‌شود، نصف‌النهارهای طول جغرافیایی است. برعکس مدارهای عرض جغرافیایی، نصف‌النهارها همه به

یک اندازه اند و هرکدام از قطب‌های شمال و جنوب می‌گذرند. به شکل ۳-۳ نگاه کنید.

چون نصف‌النهارها هم‌اندازه اند و به لحاظ اهمیت معادل اند، سازندگان نقشه‌های جغرافیایی باید یکی را به عنوان نصف‌النهار مبدأ مشخص کنند که نصف‌النهارهای دیگر نسبت به آن سنجیده شود. در سال ۱۸۸۴، در یک توافق بین‌المللی تصمیم گرفته شد که نصف‌النهاری که از گرینویچ انگلستان می‌گذرد، نصف‌النهار مبدأ - که نصف‌النهار صفر یعنی با طول جغرافیایی ۰° نیز نامیده می‌شود - به‌شمار آید. نصف‌النهارهایی که در سمت مغرب اند به صورت ۱° W، ۲° W و غیره تا ۱۸۰° W مشخص می‌شوند و نصف‌النهارهایی که در سمت مشرق اند به صورت ۱° E، ۲° E و غیره تا ۱۸۰° E. بنابراین نصف‌النهارهای ۱۸۰° E و ۱۸۰° W برهم منطبق اند.

شکل ۳-۳ نصف‌النهارها. نصف‌النهار صفر از گرینویچ انگلستان می‌گذرد. این خطوط طول‌های جغرافیایی را مشخص می‌کنند.



۳-۴ کرهٔ آسمان

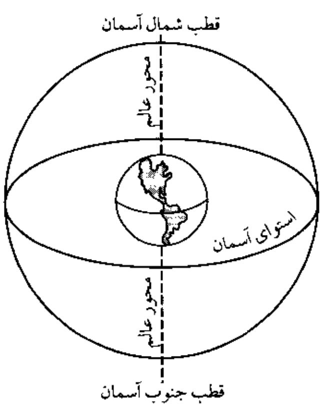
در مورد این کره قبلاً بحث شد. دیدیم که این کره به مثابهٔ زمینه‌ای است که ستارگان برآن تصویر شده‌اند. رصدکننده، همهٔ ستاره‌ها را چسبیده به داخل سطح کروی بزرگی می‌بینند. کرهٔ آسمان با کرهٔ زمین، متحدالمرکز است و بی‌نهایت بزرگ‌تر از آن. از آن رو که صرفاً کره‌ای خیالی است شعاع معینی به آن نسبت نمی‌دهند.

این دو کره نه‌تنها مرکزی مشترک، بلکه محوری مشترک و صفحهٔ استوایی مشترک هم دارند.

محور آسمان الی غیرالنهایه، فراسوی قطب‌های شمال و جنوب زمین، ادامه می‌یابد. نقاط تقاطع آن را با کرهٔ آسمان قطب شمال آسمان و قطب جنوب آسمان می‌گویند.

معدّل‌النهار یا استوای آسمان ادامهٔ استوای زمین است. هر دو بر یک صفحه اند. اما شعاع استوای آسمان که کرهٔ آسمان را به دو نیم می‌کند، بی‌نهایت بزرگ‌تر است. به شکل ۴-۳ نگاه کنید.

شکل ۴-۳ کرهٔ آسمان. ما بر سطح بیرونی کرهٔ زمین زندگی می‌کنیم. یک ناظر، ستارگان را چنان می‌بیند که گویی بر سطح داخلی کرهٔ آسمان چسبیده اند. محور آسمان ادامهٔ محور زمین، فراتر از قطب‌های شمال و جنوب زمین، است. صفحهٔ استوای آسمان ادامه استوای زمین است.



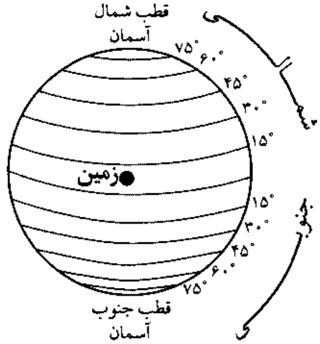
۳-۵ مدارات میل

هر نیمه از کرهٔ آسمان را می‌توان به تقسیمات فرعی بیشتری قسمت کرد: یک طریقهٔ این کار رسم دایره‌هایی به موازات استوای آسمان است. این دایره‌ها، مدارهای میل نامیده می‌شود. این دایره‌ها را در نیمکرهٔ شمالی با ارقامی مشخص می‌کنند که از صفر در معدّل‌النهار شروع می‌شود و به میل ۹۰° N برای قطب

شمال آسمان خاتمه می‌یابد.

ارقام مشابهی نیز به مدارات میل در نیمهٔ جنوبی کرهٔ آسمان داده می‌شود. در این مورد اعداد مشخص کننده از 0° در استوا شروع و تا میل $90^\circ S$ در قطب جنوب آسمان ادامه می‌یابد.

این مدارهای میل بر کرهٔ آسمان، منظوری مشابه با مدارهای عرض جغرافیایی آن‌ها بر کرهٔ زمین را برمی‌آورند. از آنها برای بیان فاصلهٔ زاویه‌ای میان یک شئ در آسمان و استوای آسمان استفاده می‌شود و این فاصله برحسب درجهٔ زاویه، میل آن شئ نامیده می‌شود. به شکل ۵-۳ نگاه کنید.



شکل ۵-۳ مدارهای میل. این دایره‌ها بر کرهٔ آسمان، نظیر مدارات عرض جغرافیایی بر سطح زمین اند، با این تفاوت که باید آن‌ها را بر سطح داخلی کره تجسم کرد. مدارات میل برای تعیین میل یک ستاره بر کرهٔ آسمان به‌کار می‌روند و آن فاصلهٔ زاویه‌ای ستاره از استوای آسمان است.

مسئله ۵-۳:

با استفاده از یک جدول ستارگان یا تقویم سالانهٔ اختری، میل ستاره‌های زیر را پیدا کنید. رجل‌الجبار، رأس پیکر پسین و سماک اعزل.

جواب: رِجل‌الجبار $8^\circ S$

رأس پیکر پسین $28^\circ N$

سماک اعزل $11^\circ S$

نکته: دریانوردان اغلب علایم + و - را به جای شمال و جنوب به‌کار می‌برند. در این صورت جواب‌های بالا به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شوند:

۸-، ۲۸+ و ۱۱-.

۳-۶ دایره‌های ساعتی

نصف‌النهارهای طول جغرافیایی زمین نیز همتاهای خود را بر کرهٔ بزرگ‌تر دارند که دایره‌های ساعتی نامیده می‌شوند. این دایره‌ها از قطب‌های شمال و جنوب آسمان می‌گذرند. آن‌ها همگی از حیث اندازه و اهمیت یکسان اند. بنا بر توافقی بین‌المللی یکی از این دایره‌ها به عنوان دایرهٔ ساعتی مبدأ برگزیده شده است.

دایرهٔ ساعتی‌ای که بدین طریق مشخص شده، دایره‌ای است که از نقطهٔ اول حَمَل (گرینویچِ آسمان) می‌گذرد. نقطهٔ اول حمل، نقطه‌ای است بر استوای آسمان که با علامت γ نموده می‌شود. خورشید در حرکت ظاهری خود در آسمان هنگامی که از نیمکرهٔ جنوبی آسمان به نیمکرهٔ شمالی می‌رود در این نقطه استوا را قطع می‌کند. وقتی خورشید در این نقطه است طول شب و روز در همهٔ نقاط زمین برابر اند. دایرهٔ ساعتی مبدأ را دایرهٔ اعتدال نامیده‌اند.

دایره‌های ساعتی دیگر به صورت زیر مشخص می‌شوند:

آ. منجمان آنها را یا بر حسب درجهٔ زاویه (°۰ تا °۳۶۰) و یا در بیشتر مواقع بر حسب آحاد زمان (از ۰h تا ۲۴h) به سمت مشرق می‌سنجند. عدد درجات یا ساعت‌هایی که یک جرم سماوی از دایرهٔ ساعتی مبدأ به طرف مشرق فاصله دارد بُعد آن جرم سماوی نامیده می‌شود.

ب. دریا (هوا) نوردان آن‌ها را بر حسب درجه و به طرف مغرب می‌سنجند. زاویه‌ای که یک جرم سماوی با دایرهٔ ساعتی مبدأ در جهت مغرب می‌سازد زاویهٔ ساعتی نجومی نامیده می‌شود.

زاویهٔ ساعتی نجومی هر دایره را به سهولت می‌توان به یکی از دو طریق زیر تصور کرد:

۱- بر روی استوای آسمان. این دوایر، استوا را به کمان‌هایی تقسیم می‌کنند. دایره‌ای که از نقطه‌ای می‌گذرد که در °۱۵ غربی صفر قرار دارد، دایره ساعتی °۱۵ غربی و دایرهٔ ساعتی‌ای که °۳۰ در مغرب صفر است، دایرهٔ ساعتی °۳۰ غربی نامیده می‌شود و الی آخر. به شکل (آ) ٦-۳ نگاه کنید.

۲- با یک دید عمودی. در قطبین دید متفاوتی از این دایره‌ها به دست می‌آید. مثلاً در قطب شمال چون خطوط مستقیمی به نظر می‌رسند که از قطب خارج می‌شوند و این خطوط، البته، دید عمودی این دوایر اند. به شکل (ب) ٦-۳ نگاه کنید. خطی که نمایشگر دایرهٔ ساعتی مبدأ است با صفر مشخص شده است و همهٔ خطوط دیگر در قیاس با این دایره نامگذاری شده‌اند.

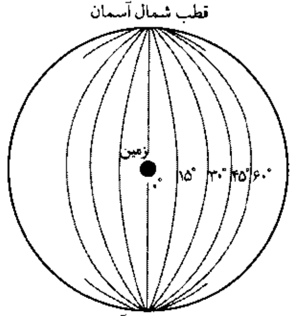
در هر دورهٔ معین، هر ستاره دارای زاویه ساعتی نجومی کاملاً معینی است؛ این زاویه با گذشت زمان، به کندی بسیار تغییر می‌کند. زاویهٔ ساعتی نجومی شعرای یمانی در سال ۱۹۰۰ برابر ′۴۹ °۲۵۹ و در سال ۱۹۵۰ برابر ′۱۵ °۲۵۹ بود.

مسئله (آ)۶-۳:

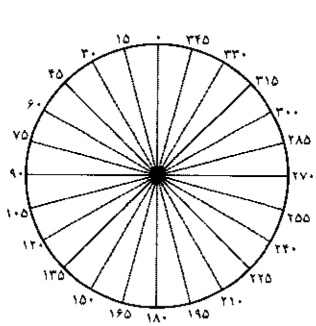
با استفاده از یک جدول ستارگان یا یک تقویم سالانهٔ اختری، زاویه ساعتی نجومی ستاره‌های زیر را پیدا کنید: ابط‌الجوزا، دبه و سِماک رامِح.

جواب: ابط‌الجوزا °۲۷۲
دبه °۱۹۵
سماک رامِح °۱۴۷

شکل (آ)٦-۳ دایره‌های ساعتی. این دایره‌ها نظیر نصف‌النهارهای سطح زمین اند.
دایره‌های ساعتی برای مشخص کردن فاصلهٔ زاویه‌ای یک جرم سماوی از زاویهٔ ساعتی صفر به‌کار می‌روند. این فواصل زاویه‌ای نظیر طول‌های جغرافیایی سطح کرهٔ زمین اند. با این حال باید توجه داشت که ما داخل کرهٔ آسمان را می‌نگریم و °۱۵ در طرف چپ °۰ است.



شکل (ب)٦-۳ دید عمومی دایره‌های ساعتی. چون مستقیماً از قطب شمال آسمان نگاه شود، دایره‌های ساعتی چون خطوط مستقیمی به نظر می‌آیند که از قطب خارج شده‌اند.



مسئله (ب)۶-۳:

موضوع: چگونگی رسم ستاره‌های دب اکبر، دب اصغر و ذات‌الکرسی بر یک نقشهٔ نجومی.

وسایل:

آ. یک جدول‌بندی قطبی. به شکل (پ)٦-۳ نگاه کنید.

ب. فهرستی از زوایای میل و زاویه‌های ساعتی نجومی ستاره‌های سه صورت فلکی فوق.

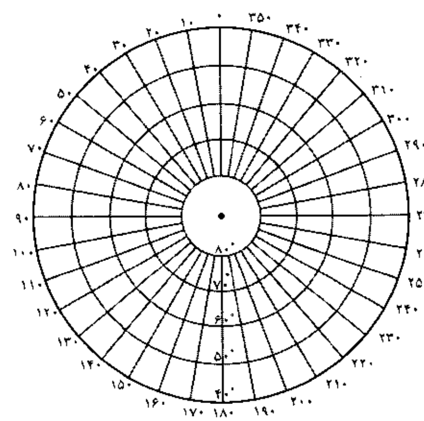
نتیجه:

قسمتی از نقشهٔ نجومی دور قطبی

فهرست زوایای میل و زاویه‌های ساعتی نجومی ستارگان مسئله (ب)٦-۳.

	زاویه ساعتی نجومی	میل
دب اکبر	۱۹۵	٦۲
	۱۹۵	٦۲
	۱۸۴	۵۴
	۱۷٦	۵۸
	۱٦۷	۵۷
	۱٦۰	۵۵
	۱۵۴	۵۰
دب اصغر	۱۳۷	۷۴
	۱۲۸	۷۲
	۱۱۴	۷٦
	۱۲۳	۷۸
	۱۰۵	۸۲
	۹۰	۸۷
	۳۳۰	۸۹
ذات‌الکرسی	۳۵۹	۵۹
	۳۵۰	۵٦
	۳۴٦	٦۰
	۳۳۹	٦۰
	۳۳۲	٦۳

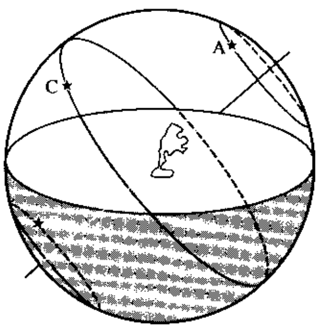
شکل (پ)٦-۳ جدول‌بندی قطبی برای رسم سه صورت فلکی دور قطبی.



۷-۳ اثر عرض جغرافیایی بر منظرهٔ آسمان

گفته شد که منظرهٔ آسمان با عرض جغرافیایی ناظر تغییر می‌کند. این تغییر را به کمک کره‌های زمین و آسمان به سهولت می‌توان توضیح داد. شکل ۷-۳ منظره‌ای را نشان می‌دهد که توسط ناظری در $40°$ N دیده می‌شود. دایرهٔ سیاه، افق ناظر را نشان می‌دهد. خط مستقیم، محوری است که کرهٔ آسمان دوران ظاهری خود را حول آن انجام می‌دهد و زاویهٔ $40°$ با افق می‌سازد. همهٔ ستارگانی که کمتراز $40°$ با قطب فاصله دارند، پیوسته بالای افق اند. برای ناظری در $30°$ N، همهٔ ستارگانی که کمتر از $30°$ با قطب فاصله دارند، دور قطبی به‌شمار می‌روند؛ برای ناظری در $18°$ N ستاره‌هایی که در کمتر از ۱۸ درجه‌ای قطب قرار دارند دورقطبی اند و الی آخر. این مطلب را بر حسب زوایای میل نیز می‌توان بیان کرد. برای ناظری در $40°$ N همهٔ ستارگانی که میل آنها بین $50°$ N و $90°$ N است، پیوسته بالای افق اند. برای ناظری $30°$ N وضع مشابه، در مورد ستاره‌هایی صدق می‌کند که میل‌شان بین $60°$ N و $90°$ N است، در حالی که برای ناظری در $18°$ N ستاره‌هایی که میل‌شان بین $72°$ N و $90°$ N است.دورقطبی اند.

شکل ۷-۳اثر عرض جغرافیایی. در این عرض جغرافیایی مدار ستاره A کاملاً بالای افق است. این ستاره را در هر شبی از سال می‌توان در آسمان دید. در این عرض جغرافیایی مدار ستارهٔ B کاملاً زیر افق است. آن را از این نقطهٔ زمین نمی‌توان مشاهده کرد. ستارهٔ C در قسمتی از سال بالای افق است و در بقیهٔ سال به هنگام شب زیر افق است. عدهٔ نسبی ستاره‌های هر گروه با عرض جغرافیایی تغییر می‌کند.



مسئله (آ)۷-۳:

عرض جغرافیایی ناظری $43°$ است. در این عرض کدام ستاره‌ها دورقطبی شمالی اند؟

راه حل: در این عرض جغرافیایی همهٔ ستاره‌هایی که به فاصلهٔ $43°$ از قطب شمال واقع اند، ستاره‌های دورقطبی شمالی اند: زاویهٔ میل این ستاره‌ها بین $90°$ N و $47°$ N $(=90-43)$ است.

جواب: همهٔ ستاره‌هایی که میل‌شان بیش از $47°$ N است دورقطبی شمالی اند.

مسئله (ب)۷-۳:

عرض جغرافیایی رصدخانه‌ای $47°$ N است. حد جنوبی ستاره‌هایی که از این رصدخانه می‌توانند رصد شوند چیست؟

حل: راصد می‌تواند ستارگانی را ببیند که به اندازهٔ $90°$ منهای عرض جغرافیایی از استوای آسمان جنوبی‌تر اند. در این رصدخانه ستاره‌هایی قابل رؤیت اند که تا $43°$ $(=90-47)$ در جنوب استوای آسمان قرار دارند.

مسئله (پ)۷-۳:

عیوق درکدام عرض جغرافیایی ستاره‌ای دورقطبی است؟ زاویهٔ میل عیوق +۴۶ یا $46°$ N است.

جواب: در هر عرض جغرافیایی که از °۴۴ شمالی‌تر باشد (مثلاً از کوه‌های قفقاز به بالا) عیوق همواره بالای افق است.

مسئله (ت)۷-۳:

رصدخانه‌ای در N °۲۵ قرار دارد. کدام ستاره‌ها را هرگز نمی‌توان از این رصدخانه رؤیت کرد؟

جواب: همه ستاره‌هایی که میل‌شان بین S °۶۵ و S °۹۰ است.

مسئله (ث)۷-۳:

کدام ستاره‌ها در استوا دورقطبی شمالی اند؟

جواب: در استوا هیچ ستاره‌ای دورقطبی شمالی نیست. ناظر در هر موقع از سال نیمی از همهٔ ستاره‌های مرئی را در آسمان می‌بیند. شش ماه بعد نیم دیگر آسمان در معرض دید اوست.

فصل ۴

رصد ستاره‌ها با تلسکوپ‌های کوچک

۱-۴ مقدمه

البته دیدی که تلسکوپ از آسمان میسر می‌سازد، بسیار واضح‌تر است و هیجانی که پدید می‌آورد بی‌اندازه است. چشم‌اندازی کاملاً تازه در برابر آدمی گشوده می‌شود. مرزهای آسمان وسیع‌تر می‌شود؛ راصد به عمق بیشتری در آسمان دست می‌یابد. راه‌کاهکشان که قبلاً به زمینه‌ای سفید رنگ و نازک می‌مانست، به تعداد تقریباً نامحدودی ستارهٔ رنگارنگ تفکیک می‌شود که اشکال هندسی متنوعی را می‌سازند.

نقطهٔ نورانی کوچک و ابرمانندی که پیش‌تر جسم نسبتاً بی‌اهمیتی به‌نظر می‌رسید، در واقع کهکشانی است که میلیاردها ستاره دارد. کم‌نور بودن آن بر اثر فاصلهٔ عظیمی است که با ناظر دارد.

تلسکوپ ممکن است آشکار کند که یک نقطهٔ نورانی بی‌اهمیت دیگر، خوشه‌ای ستاره‌ای است، گروهی ستاره که در حجم کوچکی در فضا گرد آمده‌اند. در کهکشان ما خوشه‌هایی از این نوع بسیار است و بسیاری از آن‌ها از صدها هزار ستاره تشکیل شده‌اند. خوشه‌هایی که شکل کروی دارند و ستاره‌هایشان خیلی به هم نزدیک‌اند، به خوشه‌های کروی معروف‌اند. خوشه‌های دیگر، که اجتماع‌شان پراکنده‌تر است، خوشه‌های باز نامیده می‌شوند.

بسیاری از اجرامی که ستارهٔ معمولی به نظر می‌آیند، در حقیقت ستاره‌های دوگانه‌اند، دو ستاره‌اند معمولاً بسیار نزدیک به یکدیگر. در مواردی این دو ستاره پیوسته بر گرد نقطه‌ای در فضا می‌گردند - این نقطه گرانیگاه ستارهٔ دوگانه است. دو ستاره را که این قدر نزدیک یکدیگر باشند، ستارهٔ دوتایی یا منظومهٔ دوتایی می‌نامند.

وقتی که هر دو ستارهٔ یک جفت را بتوان با تلسکوپ دید، جفت را دوتایی

بصری گویند. چهل‌هزار دوتایی بصری شناخته شده است و بسیاری نیز بعدها کشف خواهد شد.

هرگاه دو ستاره چندان به یکدیگر نزدیک باشند که تلسکوپ نتواند آنها را از هم تفکیک کند، جفت را دوتایی طیف‌نمودی نامند، زیرا با مطالعهٔ طیف ستاره به وجود جفت پی برده می‌شود.

دوتایی‌های طیف نمودی نیز بسیار متداول اند. از بررسی پرنورترین صد ستارهٔ آسمان معلوم شده است که بیست تای آنها دوتایی‌های طیف‌نمودی اند.

هنگامی که مدار حرکت انتقالی یک دوتایی طیف نمودی تقریباً بر شعاع دید منطبق باشد، دو ستاره متناوباً باعث کسوف یکدیگر می‌شوند. این قبیل دوتایی‌های طیف‌نمودی را دوتایی‌های گرفتی (کسوفی) می‌نامند.

گروه دیگری از ستاره‌ها که نورشان تغییر می‌کند، به نام قیفاوسی‌ها معروف اند. به نظر می‌رسد که این ستاره‌ها می‌تپند. بدین معنی که اندازهٔ آنها، به تناوب زیاد و کم می‌شود. روشنی قیفاوسی‌ها با اندازهٔ آنها تغییر می‌کند و وقتی که سرعت انبساط‌شان ماکزیمم است از هر وقت دیگر پرنورتر اند.

برخی اجرام که چون ستاره‌هایی ابرمانند به نظر می‌رسند، در حقیقت سحابی یعنی ابرهای گاز و غبار اند؛ ماهیت این سحابی‌ها نیز با رصد تلسکوپی آشکار شده است.

تلسکوپ‌ها بر دو نوع اند: شکستی و بازتابی. هرکدام یک شیئی (که رو به شیء مورد نظر است) دارند و یک چشمی که رصدکننده از آن می‌نگرد.

شیئی تصویری از شیء دوردست تشکیل می‌دهد؛ چشمی این تصویر را بزرگ می‌کند.

شیئی تلسکوپ شکستی یک عدسی است (نور در عبور از عدسی می‌شکند) ولی شیئی تلسکوپ بازتابی یک آینه است (نور از آینه بازمی‌تابد و در نزدیکی چشمی تصویری به وجود می‌آورد).

تلسکوپ‌ها را بر اساس گشودگی یعنی اندازهٔ قطر آزاد شیئی درجه‌بندی می‌کنند. گشودگی بزرگ‌ترین تلسکوپ شکستی جهان که در رصدخانهٔ یرکیز[1] واقع در ویلیامزبی[2] در ایالت ویسکانسین آمریکا قرار دارد، ۵ر۱۰۱ سانتیمتر است. گشودگی بزرگ‌ترین تلسکوپ بازتابی (تک‌آینه‌ای) که در نزدیکی تفلیس قرار دارد برابر ۶ متر است.

* در دو دههٔ اخیر تلسکوپ‌های بازتابی نوع جدیدی ساخته شده است که به جای یک آینهٔ بزرگ سنگین، از چندین آینهٔ کوچک‌تر سبک تشکیل

1- Yerkes
2- Williams Bay

می‌شود. آینه‌ها باهم تصویری از جرم مورد نظر می‌سازند. این نوع تلسکوپ را تلسکوپ چندگانه می‌نامند. بزرگ‌ترین تلسکوپ چندگانه، تلسکوپ کِک[۱] در ماوناکی[۲] هاوایی است که بیش از دوازده آینه دارد و مساحت کل سطح بازتابندهٔ آن برابر با آینه‌ای به قطر ۱۰ متر است.*

برای یک آماتور یک تلسکوپ شکستی ۷٫۵ سانتیمتری یا یک تلسکوپ بازتابی اندکی بزرگ‌تر کمال مطلوب است. تلسکوپ‌های نسبتاً خوب را می‌توان به قیمت مناسب خرید. آماتور علاقمند می‌تواند به سهولت تلسکوپی برای خود بسازد (دستور ساختن تلسکوپ‌های شکستی و بازتابی را در ضمیمهٔ صفحه‌های ۳۸۱ تا ۳۹۲ این کتاب خواهید یافت).

۲-۴ فهرست برگزیده‌ای برای رصدکردن

به کمک یک تلسکوپ کوچک رصدهای جالب توجه و بی‌شماری را می‌توان انجام داد. از این جمله اند:

آ. ستاره‌های دوگانه و چندگانه در گوشه و کنار آسمان،

ب. ستاره‌های متغیر،

پ. خوشه‌های ستاره‌ای،

ت. سحابی‌ها،

ث. کهکشان‌ها.

ستاره‌های متغیر که روشنی آنها به طور متناوب تغییر می‌کند، شایستهٔ توجه خاص اند. برای پی‌بردن به رفتار آنها، اطلاعات بسیار زیادی لازم است. تلسکوپ‌های بزرگ معمولاً درگیر برنامه‌های دیگر اند و از این رو به ندرت به سمت این ستاره‌ها نشانه می‌روند. منجمان آماتور، در تهیهٔ اطلاعات مربوط به این ستاره‌ها کار مهمی را انجام می‌دهند.

در بقیهٔ این فصل به ستاره‌های متغیر و نیز به اجرامی از گروه‌های آ، پ، ت و ث که مورد توجه رصدکنندگان آماتور است، اشاره خواهد شد. نخست توجه خود را به صورت‌های فلکی دورقطبی شمالی معطوف خواهیم کرد و سپس به اجرامی خواهیم پرداخت که ماه به ماه در نزدیکی نصف‌النهار سماوی مکان دیده خواهند شد. روز را در اوایل ماه و زمان را به وقت محلی در حدود ساعت نه یا ده شب اختیار می‌کنیم.

1- Keck　　2- Mauna Kea

۳-۴ صورت‌های دورقطبی شمالی

آ. دب اکبر. ستارهٔ عناق در وسط دستهٔ آب‌گردان ستاره‌ای دوگانه است: قدر ظاهری عضو پرنورتر ۱ر۲ و قدر عضو کم‌سوتر ۲ر۴ است. این ستاره، نخستین ستارهٔ دوتایی‌ای است که در ۱۶۵۰ کشف شد. زاویه‌ای که به چشم ناظر این دو را از هم جدا می‌کند ۱۵ ثانیهٔ قوس است. پژوهش‌های طیف‌نمودی بعدی نشان داد که ستارهٔ روشن‌تر این منظومهٔ دوتایی، خود ستاره‌ای دوتایی است که عناق را ستاره‌ای سه‌گانه می‌سازد. به شکل (آ) ۳-۴ نگاه کنید.

شیء جالب‌توجه دیگر در دب‌اکبر، سحابی جغد است. این سحابی ابر بزرگ و گردی است که با شماره‌های کاتولوگی M۹۷ یا NGC۳۵۸۷ مشخص شده است.

نخستین فهرست سحابی‌ها و خوشه‌های ستاره‌ای در سال ۱۷۸۱ به وسیلهٔ شارل مه‌سیه[1] منجم فرانسوی (۱۸۱۷-۱۷۳۰) تألیف شد. این فهرست مشتمل بر ۱۰۳ شئ است که بیش از نیمی از آن‌ها خوشه‌های ستاره‌ای اند (M۹۷ یعنی شیء شمارهٔ ۹۷ در فهرست مه‌سیه).

کاتالوگ عمومی جدید (NGC) که شامل فهرست جامع سحابی‌ها و خوشه‌ها است، در سال ۱۸۸۸ در انگلستان منتشر شد و بعداً نیز فهرست‌های مکمل بر آن افزوده شده است. اکثر سحابی‌ها و خوشه‌های ستاره‌ای معمولاً با شماره‌شان در کاتالوگ مزبور، معروف اند. به این ترتیب M۹۷ شیء شمارهٔ ۳۵۸۷ در کاتالوگ عمومی جدید است.

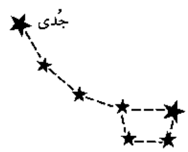
ب. دب اصغر. جدی، α (آلفا)-دب اصغر، ستاره‌ای دوگانه است. تفاوت دو ندیم از لحاظ روشنی ظاهری بسیار زیاد است. قدر ظاهری یکی از ستاره‌های این منظومهٔ دوتایی ۰ر۲ است حال آن که دیگری از قدر ۰ر۹ است. برای رؤیت ندیم کم‌سو، تلسکوپی ۵ر۷ سانتیمتری و شرایط جوی خوب لازم است. این ندیم در ماه آبان زیر ستارهٔ پرنور و در اردیبهشت بالای آن قرار دارد. به شکل (ب) ۳-۴ نگاه کنید.

پ. ذات‌الکرسی. ذات‌الکرسی از لحاظ ستاره‌های دوگانه، خوشه‌های ستاره‌ای و اجرام دیگر برای رصد با تلسکوپ، بسیار غنی است. ستارهٔ α (آلفا) در ذات‌الکرسی و نیز ستاره‌های η (اتا)، ι (یوتا) و σ (سیگما) دوگانه اند. ستاره σ (سیگما) مخصوصاً از ترکیب رنگی زیبایی برخوردار است. یکی از آنها آبی سیر و دیگری سبز است. به شکل (پ) ۳-۴ نگاه کنید.

شکل (آ) ۳-۴ دب اکبر. ستارهٔ عناق ستاره‌ای دوگانه است. قدرهای ظاهری دو عضو آن ۱ر۲ و ۲ر۴ است. رنگ هر دو سفید متمایل به سبز است و برای مشاهده با تلسکوپ‌های کم‌توان، ستارهٔ دوگانهٔ مناسبی است. مکان سحابی جغد، M۹۷، نیز در شکل مشخص شده است.



شکل (ب) ۳-۴ دب اصغر. جدی ستارهٔ قطبی، ستاره‌ای دوگانه است. ندیم پرنور آن آبی رنگ و از قدر ظاهری ۰ر۲ است. رفیق کم‌سوی آن نیز آبی رنگ است و از قدر ۰ر۹ است. برای تفکیک این منظومهٔ دوتایی تلسکوپی ۵ر۷ سانتیمتری لازم است.



شکل (پ) ۳-۴ ستاره‌های دوگانه در صورت ذات‌الکرسی. ستارهٔ α (آلفا) ستارهٔ دوگانه‌ای است که با تلسکوپی ۵ر۲ سانتیمتری قابل تفکیک است. ندیم پرنورتر زرد رنگ است و قدر ظاهری آن برابر ۰ر۳ است. ندیم کم‌نور از قدر ظاهری ۰ر۹ و به رنگ آبی است. ستارهٔ η (اتا) را نیز با تلسکوپ نسبتاً کوچکی می‌توان تفکیک کرد.

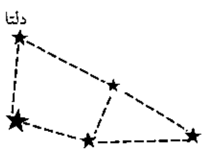


1- Charles Messier

یکی از زیباترین خوشه‌های ستاره‌ای (که با عدد ۷۷۸۹ در کاتالوگ عمومی جدید مشخص شده) در ذات‌الکرسی قرار دارد. زیبایی آن را همه ستوده‌اند.

ت. قیفاوس. δ (دلتا) - قیفاوس ستاره‌ای دوگانه است. عضو پرنورتر ستارهٔ متغیری است که از لحاظ تاریخی دارای اهمیت است و هم اوست که نام خود را به رده‌ای از ستارگان که به قیفاوسی معروف اند داده است. ستارهٔ ندیم δ (دلتا) - قیفاوس ستاره‌ای از قدر ۵ر۷ است. رنگ آن آبی و با تلسکوپی ۵ر۲ سانتیمتری هم قابل رؤیت است. به شکل (ت) ۳-۴ نگاه کنید.

شکل (ت) ۳-۴ ستارهٔ δ (دلتا) در صورت قیفاوس ستاره‌ای دوگانه است. قدر ندیم پرنورتر از ۷ر۳ تا ۶ر۴ تغییر می‌کند. ندیم کم‌سوتر ستاره‌ای از قدر ۵ر۷ و به رنگ آبی است.



۴-۴ رصدهای بهمن‌ماه

در حدود ساعت نه یا ده شب صورت‌های فلکی جبار و ارابه‌ران در نزدیکی نصف‌النهار سماوی اند.

آ. جبار. بدون شک جالب‌توجه‌ترین شیء این صورت فلکی، سحابی بزرگ آن است. همه آن را شگفت‌آورترین شیء آسمان می‌دانند؛ با چشم برهنه به سختی قابل رؤیت است. ولی به زیبایی آن تنها به کمک یک تلسکوپ می‌توان پی‌برد. هرچه تلسکوپ بزرگ‌تر باشد بهتر است. سحابی بزرگ جبار با شماره‌های M۴۲ و NGC۱۹۷۶ نیز معروف است. رنگ آن به سبز متمایل است و شکلی کم و بیش نامنظم دارد.

جبار از حیث ستاره‌های دوگانه غنی است. بیش از هفتاد ستارهٔ دوگانه در این صورت فلکی وجود دارد که رجل‌الجبار و δ (دلتا) - جبار از آن جمله اند. چند ستارهٔ چندگانه نیز در آن وجود دارد. θ (تتا) - جبار قبلاً ذکر شد. این شئ به چشم برهنه ستارهٔ منفردی است. تلسکوپ آن را به چهار ستارهٔ جدا از هم تفکیک می‌کند که واحد فشرده‌ای به شکل ذوزنقه را می‌سازند. به شکل (آ) ۴-۴ نگاه کنید.

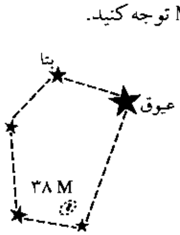
شکل (آ) ۴-۴ جبار. به سحابی بزرگ توجه کنید. جرم آن ۱۰۰،۰۰۰ برابر جرم خورشید برآوردشده‌است. رجل‌الجبار ستاره‌ای دوگانه است. عضو پرنور آن از قدر ظاهری ۰ر۱ و رنگ آن سفید متمایل به زرد است. ندیم آن از قدر ظاهری ۰ر۸ و به رنگ نارنجی است. θ (تتا) - جبار ستاره‌ای چندگانه است. قدرهای ظاهری چهار عضو آن عبارت اند از ۰ر۴، ۳ر۱۰، ۵ر۷ و ۳ر۶. این چهار ستاره شکل هندسی ذوزنقه‌ای را می‌سازند.



ب. ارابه‌ران. ستارهٔ α (آلفا) آن، عیوق، خود ستاره‌ای دوتایی است، اما به کمک تلسکوپ تنها نمی‌توان به این مطلب پی برد. دوتایی بودن عیوق با مطالعهٔ طیف نمودی آن آشکار می‌شود: چنین ستاره‌های دوگانه‌ای به دوتایی‌های طیف نمودی موسوم اند. دو ندیم عیوق جرم‌های برابر دارند و مشخصات فیزیکی آنها مشابه است. دورهٔ تناوب گردش هر ستاره بر گرد گرانیگاه مشترک ۱۰۴ روز است.

β (بتا) - ارابه‌ران نیز شایستهٔ توجه خاص است. این ستاره یک دوتایی گرفتی است. دو ندیم در صفحه‌ای گردش می‌کنند که زاویهٔ اندکی با خط دید

شکل (ب) ۴-۴ ارابه‌ران، β (بتا) - ارابه‌ران یک دوتایی گرفتی است. دو ندیم آن ستاره‌هایی با اندازه و روشنی برابر اند. به خوشهٔ ستاره‌ای بسیار زیبای M۳۸ توجه کنید.



می‌سازد. این دو در هر گردش موجب گرفت (کسوف) یکدیگر می‌شوند. دورهٔ تناوب دوران کامل ۳ روز و ۲۳ ساعت و ۵ر۲ دقیقه است.

خوشهٔ ستاره‌ای بسیار زیبایی در ارابه‌ران جای دارد. M۳۸ یا NGC۱۹۱۲ را معمولاً چون «صلیب موربی که در هر بازوی آن دو ستارهٔ بزرگ قرار دارد» توصیف می‌کنند. به شکل (ب) ۴-۴ نگاه کنید.

۴-۵ رصدهای اسفندماه

آ. جوزا. M۳۵ شیئی در خور مشاهده است. خوشه‌ای کروی است با شکلی بسیار جالب توجه. دو ردیف ستارهٔ خرد به موازات یکدیگر در دو سوی خوشه قرار دارند.

ستارهٔ رأس پیکر پیشین (α «آلفا»- جوزا) ستاره‌ای سه گانه است. دوتا از این ستاره‌ها منظومه‌هایی دوتایی با دورهٔ تناوب ۳۰۰ سال اند. ستارهٔ سوم تقریباً در هر ده هزار سال یک دور کامل را می‌پیماید. مطالعات طیف‌نمودی حاکی از آن است که هر یک از این سه ستاره خود ستاره‌ای دوتایی است. به این ترتیب رأس‌پیکرپیشین احتمالاً منظومه‌ای متشکل از شش ستاره است. به شکل (آ) ۵-۴ نگاه کنید.

ب. کلب‌اکبر. قبلاً نیز اشاره شد که شعرای‌یمانی ستاره‌ای دوگانه است. ندیم این ستاره در بخش ۴۳-۲ مورد بحث قرار گرفت.

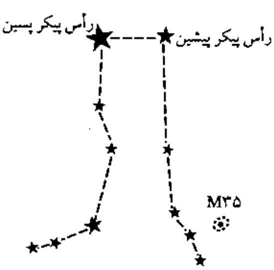
در نزدیکی شعرای‌یمانی خوشهٔ ستاره‌ای پراکندهٔ M۴۱ (یا NGC۲۲۸۷) قرار دارد که با چشم برهنه نیز دیده می‌شود. با تلسکوپی ۵ر۷ سانتیمتری می‌توان جزئیات آن را به‌خوبی دید. این ستاره‌ها دو گروه مجزا از هم را تشکیل می‌دهند که ستارهٔ سرخ رنگی در مرکز، آنها را به هم وصل می‌کند. به شکل (ب) ۵-۴ نگاه کنید.

پ. کلب‌اصغر. ستارهٔ پرنور شعرای‌شامی دوتایی جالب توجهی است. ندیم آن یکی از کم‌جرم‌ترین ستاره‌های شناخته شده است و جرم آن کمتر از یک چهارم جرم خورشید است. این ستاره فوق‌العاده کم‌سو است و فقط نوری معادل $\frac{۱}{۱۰۰٬۰۰۰}$ نور شعرای‌شامی از آن ساطع می‌شود و از این رو نمی‌توان آن را با تلسکوپی کوچک دید. به شکل (پ) ۵-۴ نگاه کنید.

۴-۶ رصدهای فروردین‌ماه

الف. اسد. ستارهٔ درخشان قلب‌الاسد ستاره‌ای دوگانه است. ندیم آن ستاره‌ای است کم‌نور از قدر هشتم. به احتمال زیاد قلب‌الاسد یک ستارهٔ دوگانهٔ

شکل (آ) ۵-۴ در شرایط جوی خیلی خوب، خوشهٔ ستاره‌ای M۳۵ را با چشم برهنه می‌توان دید. حتی تلسکوپی کوچک نیز زیبایی بیش از اندازهٔ این خوشه را آشکار می‌سازد. با آن که رأس پیکرپسین از حیث روشنی ظاهری در مقام اول است، ولی ستارهٔ رأس‌پیکر پیشین با نام علمی α (آلفا)- جوزا شناخته می‌شود. قدرهای ظاهری سه عضو شناخته شدهٔ رأس‌پیکرپیشین عبارت اند از ۷ر۲، ۷ر۳ و ۵ر۹. به احتمال زیاد هر یک از این سه ستاره خود ستاره‌ای دوگانه است.



شکل (ب) ۵-۴ کلب‌اکبر. قدر ظاهری ندیم شعرای یمانی ۴ر۸ است. به خوشهٔ M۴۱ توجه کنید. آن را با چشم برهنه نیز می‌توان دید. ستارهٔ سرخ رنگ واقع در وسط خوشه را به‌سهولت می‌توان با تلسکوپی کوچک مشاهده کرد.



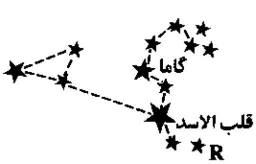
«بصری» است نه حقیقی. یک ستارهٔ دوگانهٔ بصری از دو ستاره تشکیل می‌شود که چون در خط دید ناظری زمینی واقع اند نزدیک هم به نظر می‌رسند ولی در حقیقت در امتداد این خط به‌فاصلهٔ بسیار زیاد از هم قرار دارند. البته ستاره‌های یک دوگانهٔ بصری مانند یک دوگانهٔ حقیقی به دور گرانیگاه مشترکی نمی‌گردند. γ (گاما) – اسد ستارهٔ دوگانه‌ای حقیقی است و از زمرهٔ قشنگ‌ترین ستاره‌های دوگانهٔ آسمان به شمار می‌آید و بهترین موقع مشاهدهٔ آن در تاریکی کامل نیست بلکه به هنگام مهتاب است. ستارهٔ پرنور این منظومهٔ دوتایی (با قدر ظاهری ۲ر۲) طلایی رنگ است. ستارهٔ کم‌سوتر (با قدر ظاهری ٦ر۳) آبی رنگ است. دو ندیم به کندی بر گرد گرانیگاه مشترک‌شان می‌گردند و یک دور کامل این حرکت انتقالی در حدود ٦۰۰ سال طول می‌کشد.

ستارهٔ متغیر معروف و درخور توجه این صورت فلکی R– اسد است که متغیری درازدوره است. این ستاره در حداکثر روشنی خود، که با چشم برهنه هم دیده می‌شود، به رنگ سرخ و از قدر ۵ است و به هنگام حداقل شدت نور، که فقط با تلسکوپ می‌توان آن را مشاهده کرد، ستاره‌ای از قدر دهم است. به شکل ٦-۴ نگاه کنید.

شکل (ب) ۵-۴ کلب اصغر



شکل ٦-۴ اسد. قلب‌الاسد احتمالاً یک ستارهٔ دوگانهٔ بصری است. این دو ستاره از آن رو نزدیک به هم به‌نظر می‌آیند که از نظر راصد زمینی بر خط دید واحدی قرار دارند. γ (گاما)– اسد ستارهٔ دوگانه‌ای است در این صورت فلکی که باید آن را مشاهده کرد. دو ندیم به ترتیب از قدرهای ظاهری ٦ر۲ و ٦ر۳ هست‌اند. تغییرات روشنی R– اسد را به سهولت می‌توان با تلسکوپی کوچک مشاهده کرد. دورهٔ تناوب کامل این تغییرات ۳۱۰ روز است. حال آن که تغییر آن از قدر پنجم به قدر دهم ۱۴۴ روز طول می‌کشد. R–اسد با دو ستارهٔ مجاور خود به قدرهای ظاهری ۰ر۹ و ٦ر۹، مثلثی متساوی‌الاضلاع را تشکیل می‌دهد. تغییر روشنی این ستارهٔ متغیر را می‌توان نسبت به این دو همسایه برآورد کرد.



۷-۴ رصدهای اردیبهشت ماه

رصدهای تلسکوپی دب‌اکبر به تفصیل در بخش ۳-۴ شرح داده شده است.

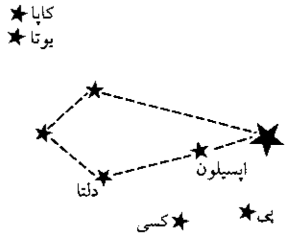
۸-۴ رصدهای خردادماه

آ. عوّا. به کمک تلسکوپی کوچک کوچک می‌توان ستاره‌های دوگانهٔ جالب توجه بی‌شماری را مشاهده کرد. فهرست ناقصی از این ستاره‌ها، شامل π (پی)، δ (دلتا)، ι (یوتا)، κ (کاپا)، ξ (کسی)، ε (اپسیلون) می‌شود. ستارهٔ دوگانه آخرین به ویژه زیبا است: یکی از اعضای آن ستارهٔ زرد درخشانی است و دیگری سبزی کم نور. به شکل (آ) ۸-۴ نگاه کنید.

ب. سنبله. این صورت فلکی از حیث سحابی غنی است و از این رو این منطقه از آسمان را دشت سحابی‌ها نامیده‌اند. در سنبله چند صدتا از این ابرها کشف شده‌اند.

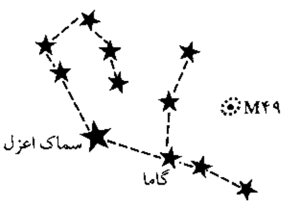
یک ستارهٔ دوگانه دیگر هم درخور توجه است. این ستاره سومین ستارهٔ پرنور این صورت فلکی، γ – سنبله است. فاصلهٔ زاویه‌ای بین دو عضو آن در سال ۱۷۵٦ برابر ٦ ثانیه بود. در سال ۱۸۳٦، دو ستاره به قدری به هم نزدیک بودند که با بزرگ‌ترین تلسکوپ‌ها هم نمی‌شد آن‌ها را از هم تفکیک

شکل (آ) ۸-۴ عوّا. دو عضو ε (اپسیلون)- عوّا دارای قدرهای ظاهری ۰ر۳ و ۳ر۶ هست‌اند. ستارهٔ روشن‌تر به‌وضوح زرد است. ستارهٔ کم‌سوتر به سبز متمایل است. ξ (کسی)- عوّا ستاره‌ای دوگانه است. دو عضو آن به‌ترتیب زرد و ارغوانی اند. ندیم زرد رنگ پرنورتر و از قدر ظاهری ۷ر۴ است. ستارهٔ ارغوانی رنگ قدر ظاهری برابر با ۶ر۶ دارد. اطلاعات مربوط به اجرام دیگر به شرح زیر است:



	قدر ظاهری	رنگ
کاپا	۶ر۴	سفید
	۶ر۶	آبی
یوتا	۵ر۰	زرد
	۷ر۵	سفید
پی	۴ر۹	سفید
	۶ر۰	سفید
دلتا	۳ر۶	زرد
	۸ر۰	آبی

شکل (ب) ۸-۴ γ (گاما)- سنبله ستارهٔ دوگانهٔ مشهوری است. دورهٔ تناوب حرکت انتقالی آن ۱۸۰ سال است و به مدت زمانی تقریباً به همین درازی رصد شده‌است. هر دو مؤلفهٔ آن به رنگ (زرد) و به یک درجه از روشنی (۷ر۳) اند.



کرد. در ۱۹۳۶ بار دیگر فاصلهٔ زاویه‌ای بین آنها ۶ ثانیه بود. یک دورهٔ تناوب کامل این دو ستاره، که ۱۸۰ سال طول می‌کشد، رصد شده است. به شکل (ب) ۸-۴ نگاه کنید.

۹-۴ رصدهای تیرماه

آ. عقرب. ستارهٔ پرنور قلب‌العقرب ستاره‌ای دوگانه است. فاصلهٔ زاویه‌ای ندیم از ستارهٔ پرنور ۳ ثانیهٔ قوس است. برای تفکیک این منظومهٔ دوتایی تلسکوپی ۱۰ سانتیمتری لازم است. ستاره‌های دوگانهٔ دیگر صورت فلکی عقرب عبارت اند از: β (بتا)- و μ (مو)- عقرب.

در این صورت چندین خوشهٔ ستاره‌ای جالب توجه را هم می‌توان رصد کرد. خوشه‌ای که تحت عنوان M۸۰ فهرست شده است از حیث تعداد ستاره یکی از غنی‌ترین خوشه‌هاست. به شکل (آ) ۹-۴ نگاه کنید. نواختران زیادی در این ناحیهٔ آسمان پدیدار شده‌اند که نخستین آنها در بیش از ۲۰۰۰ سال پیش رصد شده است.

ب. اکلیل شمالی. ستارهٔ متغیر درخور توجهی را می‌توان در وسط تاج (اکلیل) مشاهده کرد. این ستاره معمولاً از قدر ششم است و ممکن است که ماه‌ها به همین روشنی بماند. سپس، روشنی آن نسبتاً به سرعت کاهش می‌یابد و در چند هفته ستاره‌ای از قدر چهاردهم یا پانزدهم می‌شود. پس از پایان وضعیت می‌نیموم بار دیگر ستاره‌ای از قدر ششم می‌شود. به شکل (ب) ۹-۴ نگاه کنید.

شکل (آ) ۹-۴ عقرب. قلب‌العقرب ستاره‌ای دوتایی است. عضو پرنور و سرخ رنگ این منظومه از قدر ۲ر۱ ندیمی سبز دارد، که از قدر ظاهری ۲ر۵ است. ستاره‌های β (بتا)-عقرب و ν (نو)-عقرب نیز با دوربین‌های دوچشمی و تلسکوپ‌های کوچک، ستاره‌هایی دوگانه اند.
نو در حقیقت چون با تلسکوپی ۱۰ سانتیمتری دیده شود ستاره‌ای چهارتایی است.



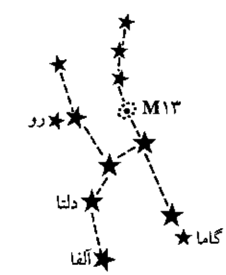
۴-۱۰ رصدهای مردادماه

آ. جاثی. خوشهٔ ستاره‌ای بزرگ صورت جاثی، M۱۳ یا NGC۶۲۰۵ در بخش ۶۰-۲ شرح داده شد. ستاره‌های بیرونی این خوشه، حتی با تلسکوپی کوچک نیز به واحدهای مجزا تفکیک می‌شوند. اما برای مشاهدهٔ عظمت این خوشهٔ کروی به نحو کامل، به تلسکوپی بزرگ نیاز است.

چندین ستارهٔ دوگانهٔ زیبا در این صورت فلکی شایستهٔ توجه اند. α (آلفا)-جاثی یکی از این‌هاست و نیز ρ(رو)-جاثی و γ(گاما)-جاثی در این زمره اند. ستارهٔ δ (دلتا) این صورت فلکی ستاره‌ای دوگانه، منتهی دوگانه‌ای بصری است. در واقع این دو ستاره به سمت‌های متفاوت حرکت می‌کنند به طوری که چند هزار سال دیگر کاملاً جدا از هم دیده خواهند شد. به شکل ۱۰-۴ نگاه کنید.

شکل (ب) ۹-۴ اکلیل شمالی. شیئی که برای منجم متفنن سخت جالب توجه است، ستاره‌ای است که در این صورت فلکی با نشانهٔ R مشخص شده است. این ستاره، ستارهٔ متغیر نامنظمی است که معمولاً از قدر ششم و به دشواری با چشم برهنه قابل رؤیت است. وضعیت عادی آن هر از چند گاه منقطع می‌شود و ستاره به ستاره‌ای از قدر ۱۴ یا ۱۵ افول می‌کند. این ستاره یکی از ستارگان اسرارآمیز نجوم به شمار می‌رود.





	قدر ظاهری	رنگ
گاما	۸ر۳	سفید
	۰ر۸	بنفش کمرنگ
رو	۰ر۴	سبز
	۱ر۵	سبز
دلتا	۰ر۳	سبز
	۱ر۸	خاکستری

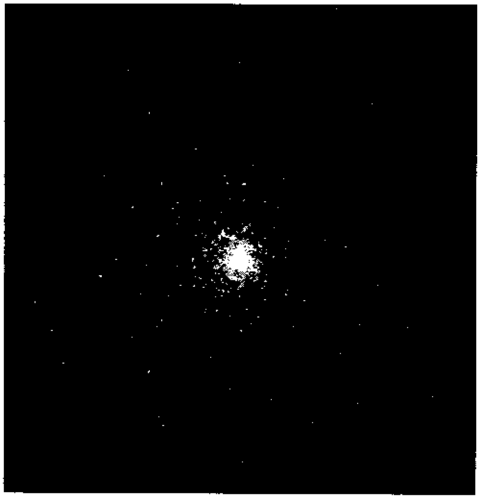
شکل ۱۰-۴ جاثی. α (آلفا)- جاثی ستارهٔ دوتایی زیبایی است. ستاره پرنور آن (قدر ظاهری ۰ر۳) به رنگ زرد تند است، در حالی که ندیم کم‌سوتر (از قدر ظاهری ۱ر۶) آبی رنگ است. اطلاعات مربوط به γ (گاما)-δ (دلتا) و ρ(رو) جاثی طبق جدول روبرو است.
چهرهٔ برجستهٔ این صورت فلکی خوشهٔ کروی بزرگ M۱۳ است. این خوشهٔ کروی به دشواری با چشم برهنه قابل رویت است و به ستارهٔ قدر پنجم مه‌آلودی می‌ماند. برای دیدن زیبایی واقعی آن، دست کم به تلسکوپی ۵ر۱۲ سانتیمتری نیاز است و تلسکوپی بسیار بزرگ‌تر عظمت آن را به تمامی نشان می‌دهد. این خوشه، احتمالاً در حدود ۵۰۰،۰۰۰ ستاره دارد.

۴-۱۱ رصدهای شهریورماه

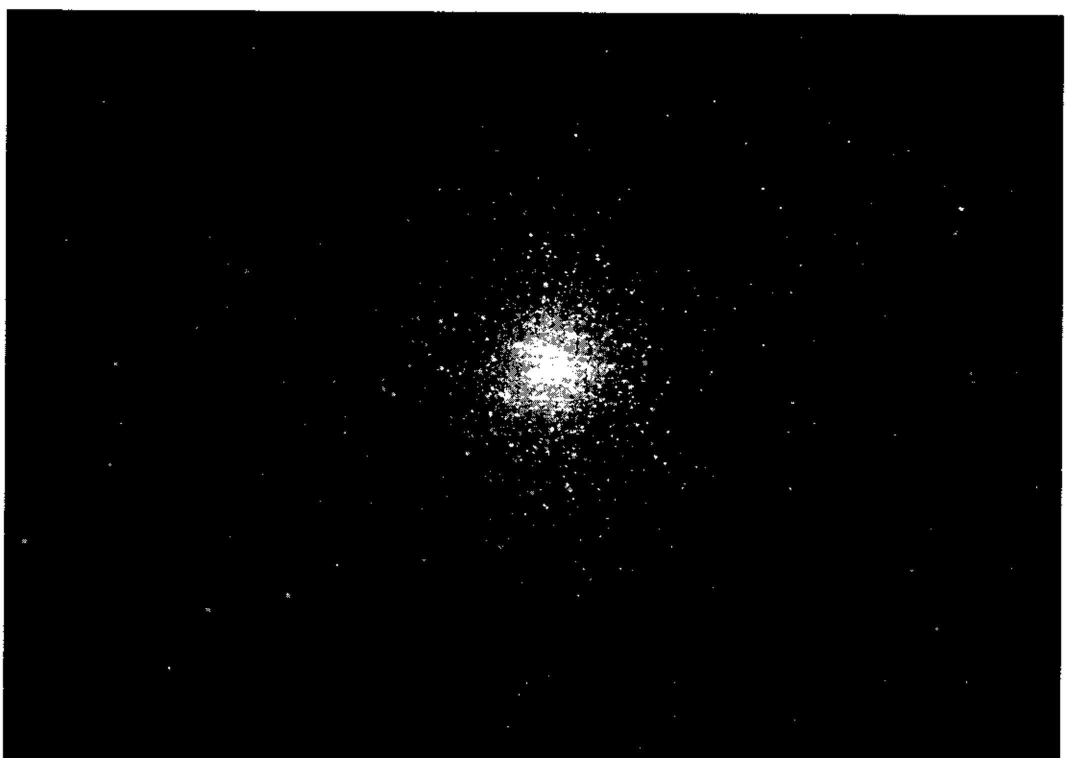
آ. شلیاق. ستارهٔ بتای این صورت فلکی در بخش ۶۲-۲ شرح داده شد. این ستاره یکی از ستاره‌های متغیری است که آن را با چشم برهنه می‌توان رصد کرد. مشاهدهٔ آن با تلسکوپ نشان می‌دهد که ستاره‌ای چندگانه و یحتمل متشکل از ۶ عضو است. قدر ظاهری مؤلفه‌ها بین ۰ر۳ تا ۳ر۱۴ است.

چندین ستارهٔ چندگانهٔ دیگر نیز در شلیاق وجود دارد. ξ (زتا)- شلیاق از پنج ستاره تشکیل شده است.

خوشهٔ کروی M۸۰ در صورت فلکی عقرب. این تصویر توسط تلسکوپ فضایی هابل در سال ۲۰۰۶ گرفته‌شده‌است.



خوشهٔ کروی M۱۳ در صورت فلکی جاثی. این خوشهٔ کروی به فاصلهٔ تقریبی ۲۵،۰۰۰ سال نوری از ما قرار دارد. آن را به سختی با چشم برهنه می‌توان دید. تعداد ستارگان این خوشه کروی در حدود ۵۰۰،۰۰۰ برآورد می‌شود.



در این صورت فلکی ستارهٔ پرنور نسرواقع نیز ستاره‌ای دوگانه است. ندیم نسرواقع ستاره‌ای کم‌نور از قدر ۵ر۱۰ است. در حالی که نسرواقع به رنگ آبی متمایل به سفید است، ندیم آن به وضوح رنگ نارنجی دارد.

ε (اپسیلون)- شلیاق نیز ستارهٔ دوگانهٔ دوگانه‌ای است. کسانی که دید چشمشان بسیار عالی است، دوگانهٔ اصلی را بدون دوربین می‌توانند ببینند. در تلسکوپ هریک از دو ستارهٔ اصلی به دو مؤلفه تفکیک می‌شود. چهار ستارهٔ ε - شلیاق از قدرهای ظاهری ۱ر۵، ۰ر۶، ۱ر۵ و ۴ر۵ اند.

سحابی حلقه، M۵۷، از آن رو چنین نامیده شده است که چون با تلسکوپی ۵ر۱۲ یا ۱۵ سانتیمتری مشاهده شود به یک حلقهٔ دود شباهت دارد(صفحهٔ ۸۱). تلسکوپ‌های بزرگ‌تر، شباهت بیشتر آن را به یک حباب صابون آشکار می‌سازند تا به یک حلقه مسطح. این سحابی نور خود را از ستارهٔ قدر پانزدهمی کسب می‌کند که در مرکز آن واقع است.

M۵۷ از گروه بزرگ سحابی‌های سیاره‌ای است: صفت سیاره‌ای حاکی از شباهت اندک شکل آنها به سیاره‌ها است. به شکل (آ) ۱۱-۴ نگاه کنید.

ب. دجاجه. برای یک منجم متفنن، این ناحیه شگفت‌آورترین بخش آسمان است. راه کاهکشان در دجاجه به دو شاخهٔ متوازی تقسیم می‌شود؛ ستارگان بی‌شمار، خوشه‌های ستاره‌ای و گه‌گاه شکاف‌هایی تیره در آن می‌توان دید. این منطقه از حیث تعداد ستاره‌ها احتمالاً یکی از غنی‌ترین قسمت‌های آسمان است.

عدهٔ ستاره‌های متغیر در دجاجه فوق‌العاده زیاد است. در سه قرن گذشته چندین نواختر در این صورت فلکی پدیدار شده‌اند.

ستاره‌های دوگانه نیز در دجاجه بسیارند. یکی از آنها β(بتا)- دجاجه (منقار الدجاجه) است که با دو رنگ متمایز طلایی و آبی، یکی از زیباترین ستاره‌های دوگانه به شمار می‌رود. به شکل (ب) ۱۱-۴ نگاه کنید.

پ. قوس. حضور راه کاهکشان در این صورت فلکی، مجموعهٔ زیبایی از خوشه‌های کروی، خوشه‌های ستاره‌ای باز و سحابی‌ها را موجب شده است.

M۱۷، سحابی نعل اسب یا قو- ابر کمانی شکل وسیعی متشکل از گاز و غبار - یکی از معدود سحابی‌هایی است که با تلسکوپی کوچک قابل رؤیت اند. چندین ستارهٔ درخور توجه، این سحابی را روشن می‌کنند.

در این قسمت آسمان خوشهٔ کروی بسیار زیبای M۲۲ هم قرار دارد، که ستاره‌هایش کم‌سو اند. قدرهای آنها معمولاً ۱۰، ۱۱ و غیره است. جمع کل نور آنها زیاد است و خوشه را با چشم برهنه قابل رؤیت می‌سازند. به شکل

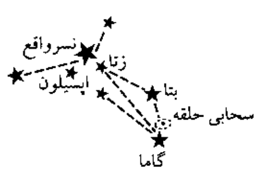
شکل (آ)۱۱-۴ شلیاق. سحابی حلقه سخت مورد توجه منجمان است. با یک تلسکوپ ۵ر۷ سانتیمتری به سهولت می‌توان آن را در نیمه راه β (بتا)- به γ (گاما)- شلیاق دید. برای مشاهدهٔ شکل واقعاً حلقوی آن دست کم تلسکوپی ۵ر۱۲ سانتیمتری لازم است.

β(بتا)- شلیاق ستاره‌ای است بسیار جالب توجه. دست کم از شش ندیم به قدرهای ۰ر۳، ۷ر۶، ۰ر۱۳، ۳ر۱۴، ۲ر۹ و ۰ر۹ تشکیل شده است. تغییر روشنایی این ستارهٔ مرکب از ۴ر۳ به ۵ر۴ را با چشم برهنه می‌توان ردیابی کرد.

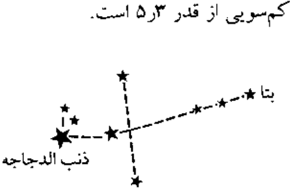
ξ (زتا)- شلیاق از دو ستارهٔ پر نور (با قدرهای ظاهری ۲ر۴ و ۵ر۵) و سه ندیم کم سو تشکیل شده است.

نسر واقع ستاره‌ای دوگانه است. ندیم کم‌سوی آن ستاره‌ای از قدر ۵ر۱۰ به رنگ نارنجی است.

ε (اپسیلون)- شلیاق یک دوگانهٔ دوگانه است. یکی از دوگانه‌ها ε۱ (اپسیلون یک) از یک ستارهٔ سفید متمایل به سبز از قدر ۱ر۵ و یک ستارهٔ سفید متمایل به آبی از قدر ۰ر۶ تشکیل شده است. دوگانهٔ دیگر، ε۲ (اپسیلون دو)، یک ستارهٔ سفید قدر ۱ر۵ و یک ستارهٔ خیلی سفید از قدر ۴ر۵ را شامل می‌شود.



شکل (ب)۱۱-۴ دجاجه. β (بتا)- دجاجه احتمالاً زیباترین ستارهٔ دوگانه است. دو ندیم آن را حتی با بزرگنمایی ۲۰ مرتبهٔ یک تلسکوپ ۵ سانتیمتری می‌توان دید. قدر ظاهری ستارهٔ پرنور زرد ۰ر۳ است در حالی که ندیم آبی رنگ آن ستارهٔ کم‌سویی از قدر ۳ر۵ است.



(پ) ۱۱-۴ نگاه کنید.



شکل (پ)۱۱-۴ قوس. M۱۷ سحابی نعل اسب یا قو، را می‌توان با تلسکوپی کم توان مشاهده کرد. M۲۲ (یا NGC ٦٦٥٦) یکی از زیباترین خوشه‌های ستاره‌ای شناخته شده است.

ت. عقاب. چیزی که برای رصدکنندگان جالب توجه است ستارهٔ متغیر η (اتا)-عقاب است. ۷ روز و چهار ساعت و ۱۲ دقیقه طول می‌کشد تا این ستاره از قدر ۷ر۳ در وقت پرنوری به قدر ۵ر۴ به هنگام کم‌سویی، تغییر کند و باز به حال نخست برگردد.

چندین ستارهٔ دوگانه قشنگ در عقاب وجود دارد. نسرطایر، پرنورترین ستارهٔ این صورت فلکی یکی از این ها است. ندیم آن ستاره‌ای از قدر ۱۰ و به فاصلهٔ زاویه‌ای ۵ر۲ دقیقهٔ قوس از نسرطایر است. به شکل (ت) ۱۱-۴ نگاه کنید.

شکل (ت)۱۱-۴ عقاب. η (اتا)- عقاب متغیری قیفاوسی است. به هنگام حداکثر روشنی، قدر ظاهری آن ۵ر۳ است. آلفای عقاب، یا نسرطایر، ستاره‌ای دوگانه است.



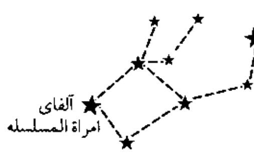
۱۲-۴ رصدهای مهرماه

تفصیل رصدهای تلسکوپی صورت قیفاوس در بخش ۳-۴ آمده است.

۱۳-۴ رصدهای آبان ماه

آ. فرس اعظم. در این صورت ستاره‌های دوگانهٔ بسیاری را می‌توان رصد کرد. تمایز بسیار زیبای رنگ‌ها را می‌توان در منظومهٔ دوتایی اپسیلون فرس اعظم دید. ستارهٔ پر نور (از قدر ۷ر ۲) به رنگ زرد است و ندیم آن (از قدر ۷ر ۸) بنفش روشن. این دو ستاره به فاصلهٔ زاویه‌ای دو دقیقه از یکدیگر اند. به شکل ۱۳-۴ نگاه کنید.

شکل ۱۳-۴ فرس اعظم ε (اپسیلون) فرس اعظم ستاره‌ای دوگانه است. ندیم پرنور (۷ر۲) به رنگ زرد است. ندیم کم‌نور (از قدر ظاهری ۷ر۸) بنفش رنگ است.



۱۴-۴ رصدهای آذرماه

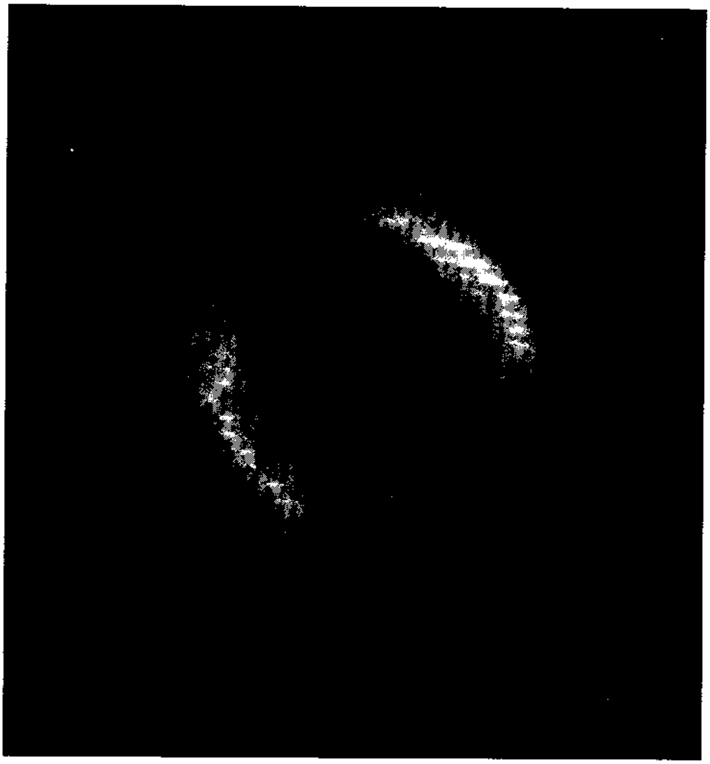
آ. اِمراة المسلسله. کهکشان بزرگ M۳۱ که در زمینهٔ این صورت فلکی دیده می‌شود، در بخش ۷۳-۲ شرح داده شد. نخستین رصدکنندگان آن، آن را ابر یا سحابی شمردند و اشاره به «ملکه سحابی‌ها» بیش از یک هزار سال سابقه دارد.

با تلسکوپی کم‌توان، این کهکشان شیء بیضوی درخشانی به‌نظر می‌رسد. تنها به کمک تلسکوپی بزرگ است که ماهیت راستین این مارپیچ عظیم بیلیون‌ها ستاره‌ای، آشکار می‌شود. به شکل (آ) ۱۴-۴ نگاه کنید.

شکل (آ)۱۴-۴ امراةالمسلسله. کهکشان بزرگ امراةالمسلسله را سحابی بزرگ امراةالمسلسله نیز می‌خوانند. شمارهٔ مه‌سیهٔ آن M۳۱ است. شمارهٔ آن در کاتالوگ عمومی جدید ۲۲۴ است. احتمالاً این کهکشان شباهت زیادی به کهکشان ما (راه کاهکشان) دارد.



ب. قیطس. شیء اصلی در خور توجه، متغیر دراز دوره o (امیکرن)-قیطس است که به نام میرا یا ستارهٔ شگفت‌انگیز هم معروف است. روشنی این ستاره از قدر دوم تا قدر دهم تغییر می‌کند. دورهٔ تناوب آن بسیار نامنظم و به طور متوسط ۳۳۰ روز است. حدود ۴۰۰ سال است که این ستاره مورد



سحابی حلقه، M۵۷ در صورت فلکی شلیاق، نمونه‌ای از سحابی‌های سیاره‌ای است. در مرکز این سحابی ستارهٔ بسیار سوزانی قرار دارد که تابش کوتاه‌طول موج آن موجب درخشندگی حلقه می‌شود. ←

پروین معروف‌ترین خوشهٔ ستاره‌ای باز است. این خوشه در صورت فلکی ثور قرار دارد و دست‌کم شش ستارهٔ آن با چشم برهنه دیده می‌شود. تعداد کل ستاره‌های آن در حدود ۲۰۰ تا ۵۰۰ است. قطر تقریبی خوشهٔ پروین ۱۴ سال نوری و فاصلهٔ آن از ما ۴۱۰ سال نوری است. دورادور ستاره‌های سوزان‌تر و درخشنده‌تر آن هالهٔ ابرمانند کم‌فروغی دیده می‌شود که معلول بازتاب نور از ابرهای غباری است که این ستاره‌ها را احاطه کرده است (سحابی بازتابی). ↓



مطالعه بوده است و هنوز هم منجمان متفنن (آماتور) روشنی آن را بررسی می‌کنند. به شکل (ب) ۱۴-۴ نگاه کنید.

شکل (ب)۱۴-۴ قیطس. میرا یا o (امیکرون)- قیطس ستارهٔ متغیر دراز دوره‌ای است. رنگ این ستاره به وضوح سرخ و از گونهٔ ستارگان غول است.

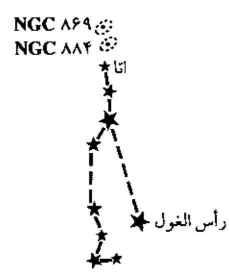


۱۵-۴ رصدهای دی ماه

آ. برساوش. ستارهٔ متغیر گرفتی β (بتا)- برساوش که به نام رأس‌الغول نیز معروف است، در بخش ۷۶-۲ توصیف شد. شدت نور آن از قدر پرنور ۲ر۲ تا قدر کم‌سوی ۵ر۳ تغییر می‌کند و این تغییر هر دو روز و بیست ساعت و ۴۸ دقیقه تکرار می‌شود. تغییرات روشنی آن خیلی منظم است. بیشتر اوقات در پرنورترین حالت خود است و گرفت (کسوف) آن فقط ۵ر۴ ساعت طول می‌کشد. سپس ستاره به سرعت به قدر ۲ر۲ بازمی‌گردد. رأس‌الغول مثال کلاسیک یک دوتایی گرفتی است. هر دو ستارهٔ آن به‌تفصیل مطالعه شده‌اند و اطلاعات نسبتاً دقیقی از آنها در دست است. ستارهٔ پرنورتر قطری برابر ۶،۴۰۰،۰۰۰ کیلومتر و جرمی معادل پنج برابر جرم خورشید دارد. قطر ستارهٔ کم‌فروغ‌تر ۲۰ درصد بیشتر از قطر خورشید و جرم آن برابر با جرم خورشید است. دو ستاره خیلی به یکدیگر نزدیک اند و فاصلهٔ مراکز آنها در حدود ۵ر۱۷ میلیون کیلومتر است. هر دو روز و بیست ساعت و ۴۸ دقیقه یک بار به دور گرانیگاه مشترک‌شان می‌گردند. صفحهٔ مدار آنها کاملاً بر خط دید ما منطبق نیست بلکه زاویه‌ای نزدیک به 8° با آن می‌سازد. گرفت آن جزئی است. وقتی ستاره در کم‌نورترین وضعیت قرار دارد، بیش از نیمی از مؤلفه پرنورتر دچار گرفتگی شده است. رصدهای β (بتا) - برساوش را می‌توان با چشم برهنه هم انجام داد.

شیء جالب توجه دیگر در برساوش یک خوشهٔ ستاره‌ای دوگانه است. به کمک تلسکوپ می‌توان دو خوشهٔ ستاره‌ای نزدیک به هم را در نزدیکی η (اتا) - برساوش، به جانب ذات‌الکرسی، دید. به شکل (آ) ۱۵-۴ نگاه کنید.

شکل (آ)۱۵-۴ برساوش. تغییرات رأس‌الغول را می‌توان با چشم برهنه رصد کرد. η (اتا)- برساوش ستاره‌ای دوگانه است. مؤلفهٔ پرنور آن از قدر ظاهری ۰ر۴ و مؤلفهٔ کم‌سوی آن از قدر ۰ر۸ است. رنگ دو ستاره کاملاً متفاوت است، ستارهٔ پرنورتر خیلی زرد رنگ و ستارهٔ کم‌نورتر خیلی آبی‌رنگ است. خوشهٔ دوگانهٔ NGC ۸۶۹ و NGC ۸۸۴ شایستهٔ توجه زیاد است. این دو خوشه درنزدیکی η- برساوش و در جانب صورت ذات‌الکرسی قرار دارند و با چشم برهنه مرئی اند. این جفت یکی از زیباترین خوشه‌های ستاره‌ای آسمان به‌شمار می‌آیند.

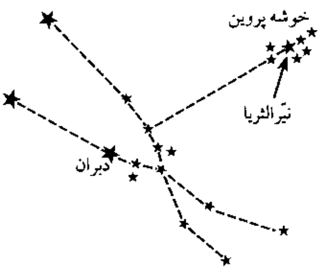


ب. ثور. هفت ستارهٔ این صورت فلکی که به خوشهٔ پروین یا ثریا معروف است، شیئی را تشکیل می‌دهند که سخت مورد توجه منجم متفنن است. به چشم برهنه فقط هفت ستارهٔ مرئی است ولی حتی به کمک تلسکوپی کوچک بیش از یک صد ستاره را می‌توان دید. صفحهٔ عکاسی چند صد ستاره را ثبت می‌کند. به‌نظر می‌رسد که ستاره‌های خوشهٔ پروین در سحابی رقیقی جای گرفته‌اند. این سحابی خود به واسطهٔ نور این ستارگان روشن است.

ثور شامل تعداد زیادی ستارهٔ دوگانه و چندگانه هم می‌شود. ستارهٔ پرنور نیّرالثریا در خوشهٔ پروین ستاره‌ای است چهارگانه. دبران، پرنورترین ستاره این

صورت فلکی، ندیمی دارد از قدر ۲ر۱۱ که ستاره‌ای است نارنجی رنگ که آن را در شرایط خوب جوی با تلسکوپی ۵ر۷ سانتیمتری می‌توان دید. به شکل (ب) ۱۵-۴ نگاه کنید.

شکل (ب)۱۵-۴ ثور. نیّرالثریا پرنورترین ستارهٔ خوشهٔ پروین در صورت فلکی ثور، ستاره‌ای است سه‌گانه در تلسکوپ‌های کوچک و چهارگانه در تلسکوپ‌های بزرگ. دبران، پرنورترین ستارهٔ این صورت فلکی، ندیمی دارد که از قدر ۲ر۱۱ است.



۱۶-۴ رصدهای دور قطبی جنوبی

در صورت‌های فلکی‌ای که از عرض‌های میانهٔ شمالی مرئی نیستند، اجرام جالب توجه بسیاری برای رصد با تلسکوپ وجود دارد.

آلفا - صلیب ستاره‌ای دوگانه است. ستارهٔ آلفای صورت فلکی قنطورس ستاره‌ای است سه‌گانه و سه ستارهٔ آن به ترتیب از قدرهای ۳ر۰، ۷ر۱ و ۰ر۱۱ اند. وصف α (آلفا) - قنطورس در بخش ۸۲-۲ آمده است.

آسمان «زیر پا» نیز آکنده از خوشه‌ها و سحابی‌ها است. یکی از نزدیک‌ترین خوشه‌های ستاره‌ای که در کاتالوگ عمومی جدید با شمارهٔ ۱۰۴ فهرست شده است، خوشه‌ای است تقریباً به شکل گوی کامل و مجتمعی است در هم فشرده از تعداد بی‌شماری ستارهٔ قدر دوازدهم و ستاره‌های کم‌فروغ‌تر.

از جمله چیزهایی که «باید» رصد کرد، دو کهکشان است در نزدیکی قطب جنوب آسمان. این کهکشان‌ها را از قرن‌ها پیش با نام‌های ابر بزرگ ماژلان و ابر کوچک ماژلان می‌شناختند، هر دو با چشم برهنه دیده می‌شوند. قطر کهکشان بزرگ‌تر در حدود ۳۰،۰۰۰ سال نوری و قطر کهکشان کوچک‌تر کمتر از ۲۵،۰۰۰ سال نوری است. نور شدید مهتاب کهکشان کوچک‌تر را محو می‌کند ولی کهکشان بزرگ‌تر حتی در مهتاب هم قابل رؤیت است.

فصل ۵

تلسکوپ و کاربردهای آن

قسمت اول: تلسکوپ‌های شکستی

۵-۱ مقدمه

بیشتر اطلاعاتی که از ستارگان داریم از نوری به‌دست آمده است که از آنها به زمین می‌رسد. تحلیل جزئیات این نور، اطلاعات مربوط به مواد شیمیایی موجود در ستاره، دمای سطحی آن و جز اینها را فراهم می‌آورد. از مطالعهٔ دقیق این نور اطلاعاتی در بارهٔ جرم و سرعت ستاره و مقدار زیادی آگاهی‌های دیگر به‌دست می‌آید. در این جستجو تلسکوپ اهمیت اساسی دارد. تلسکوپ از سه راه متفاوت به منجم کمک می‌کند: (آ) نوری را که از ستاره ساطع می‌شود جمع می‌کند و به این ترتیب موجب می‌شود که ستاره پرنورتر به نظر آید - این خاصیت دستگاه را توان جمع‌آوری نور نامند. (ب) جزئیات را مشخص می‌کند، مثلاً مؤلفه‌های یک ستارهٔ دوگانه را از هم جدا می‌سازد - این خاصیت توان تفکیک نامیده می‌شود و (پ) بخشی از آسمان را که مورد مطالعه است، بزرگ می‌کند - و این توان بزرگنمایی تلسکوپ است.

تلسکوپ‌ها از دو نوع اصلی اند: تلسکوپ‌های شکستی و تلسکوپ‌های بازتابی. این قسمت به ساخت، خواص و مشخصات تلسکوپ‌های شکستی اختصاص دارد.

۵-۲ فرایند «دید»

دیدن یک جسم به وسیلهٔ انسان، معلول تابیدن نور ساطع شده از آن جسم است بر پردهٔ داخلی چشم. این پرده نسبت به نور حساس است و شبکیه نام دارد. به این ترتیب، قسمتی از نوری که فرضاً از شعلهٔ شمعی خارج می‌شود، از سوراخ مردمک چشم به شبکیه راه پیدا می‌کند و شبکیه این نور را به تحریکی عصبی

تبدیل می‌کند. سپس عصب بینایی این تحریک را به مغز منتقل مـی‌کند کـه احساس دید را موجب می‌شود. اشیاء غیر نورانی چون کتاب و صندلی بر اثر نوری که از آنها منعکس می‌شود - نور آفتاب یا نور مصنوعی - و به شبکیهٔ ناظر می‌رسد دیده می‌شوند.

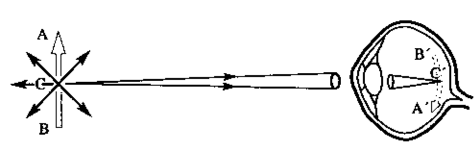
تصویر مرئی‌ای که بر شبکیه تشکیل می‌شود رابطه‌ای نقطه به نقطه با شیء مشاهده شده دارد. به این ترتیب نور هر نقطه از یک شعله باید بر یک نقطه و تنها یک نقطه از شبکیه بتابد.

این مطلب را می‌توان با مثالی روشن کرد.

فرض کنید که شیء مورد مشاهده پیکان نورانی AB باشد. نوری که از نقطهٔ معینی از این پیکان، مثلاً نقطهٔ C، تابیده است در همهٔ جهات فضا پخش می‌شود. جزء کوچکی از این نور وارد چشم ناظر می‌شود. قسمتی که داخـل چشم می‌شود به صورت یک مخروط است.

برای آن که دید واضحی حاصل آید، تمام نور داخل این مخروط باید در نقطهٔ واحدی بر شبکیه همگرایی پیدا کند و این کاری است که عدسی بلورین چشم که درست داخل مردمک جای دارد، انجام می‌دهد. این نقطهٔ واقع بـر شبکیه، تصویر نقطهٔ C شئ، یعنی 'C است.

تصویرهای نقاط دیگر شئ نیز به همین صورت بر شبکیه تشکیل می‌شود و مجموعهٔ آنها 'A'B ، تصویر پیکان نورانی را به وجـود مـی‌آورد. بـه شکـل (آ) ۲-۵ نگاه کنید.



شکل (آ) ۲-۵فرایندديدن. AB پیکانی نورانی است که هر نقطهٔ آن یک چشمهٔ کوچک نور است.
نوری که از یکی از این نقاط (نقطه C) ساطع می‌شود در همه جهات پخش می‌شود (در اینجا هفت شعاع نور مشخص شده است). قسمتی از این نور وارد چشم ناظر می‌شود. شعاع‌هایی کـه بـه ایـن طـریق وارد می‌شوند مخروطی را تشکیل می‌دهند. عدسی بلورینی که در چشم است موجب همگرایی شعاع‌ها در نقطهٔ 'C واقع بر شبکیه می‌شود که تصویر نقطهٔ C شئ بر شبکیه است. هر نقطهٔ دیگر پیکان نیز تصویر مشابهی بر شبکیه تشکیل می‌دهد. مجموعهٔ این نقاط بر شبکیه تصویر کامل 'A'B را به‌وجود می‌آورد.

عدسی برای انجام این کار از انحناء سطوح خود استفاده می‌کند. برای این که ببینیم چگونه این کار انجام می‌شود دو شعاع را در مسیرشان از نقطهٔ C به نقطهٔ 'C دنبال می‌کنیم. شعاع ۱ که از نقطهٔ C خارج می‌شود در سطح پیشین

عدسی شکسته می‌شود. عدسی را می‌پیماید، برای دومین بار به هنگام خروج از سطح پسین می‌شکند و در نقطهٔ 'C بر شبکیه فرود می‌آید.

این شکست شبیه شکستی است که در نور هنگام عبور از هوا به آب یا از آب به هوا و یا در عبور از منشور شیشه‌ای روی می‌دهد. به شکل (ب) ۲-۵ نگاه کنید.

شعاع ۲ که از نقطهٔ C خارج می‌شود سرگذشت مشابهی را تجربه می‌کند: (آ) در سطح پیشین عدسی می‌شکند، (ب) از عدسی می‌گذرد، (پ) بار دیگر هنگام خروج از سطح پسین می‌شکند. برای آن که تصویر روشنی از نقطهٔ C به دست آید، شعاع ۲ باید با شعاع ۱ روی شبکیه تلاقی کند. عدسی چشم انحناء خود را چنان تنظیم می‌کند که دو شعاع دقیقاً در چنین نقطه‌ای تلاقی کنند.

همین طور همهٔ شعاع‌هایی که از نقطهٔ C شیئ ساطع می‌شوند، از راه مردمک وارد چشم می‌شوند و در نقطهٔ 'C با هم تلاقی می‌کنند. به شکل (پ) ۲-۵ نگاه کنید.

آنچه در مورد عدسی بلورین چشم آدمی گفته شد دربارهٔ عدسی شیشه‌ای تلسکوپ نیز صادق است. ولی تفاوت با اهمیتی میان این دو وجود دارد.

عدسی چشم می‌تواند انحناء سطوح خود را تغییر دهد. این کار فاصلهٔ کانون تا عدسی را تغییر می‌دهد. در مورد عدسی شیشه‌ای، کانون ثابت است.

۳-۵ مشخصات عدسی

یک عدسی با گشودگی، فاصلهٔ کانونی و نسبت کانونی (یا عدد f) آن مشخص می‌شود. این مشخصات با فرمول زیر به هم مربوط اند:

$$\text{عدد } f \text{ (یا نسبت کانونی)} = \frac{\text{فاصلهٔ کانونی}}{\text{گشودگی}}$$

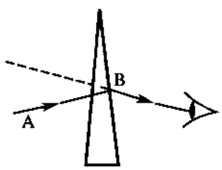
گشودگی قطر آزاد عدسی است که نور از آن می‌گذرد و معمولاً اندازهٔ تلسکوپ را مشخص می‌کند (مثلاً تلسکوپ ۵ متری).

فاصلهٔ کانونی، فاصلهٔ بین مرکز عدسی و کانون آن است.

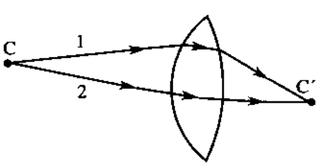
کانون عدسی نقطه‌ای است بر محور آن که همهٔ شعاع‌های موازی با محور در آن با هم تلاقی می‌کنند. به شکل ۳-۵ نگاه کنید.

اندازهٔ تصویر با فاصلهٔ کانونی تغییر می‌کند - چون فاصلهٔ کانونی زیاد شود تصویر بزرگ می‌شود. یک فاصلهٔ کانونی ۷۰ سانتیمتری تصویری بزرگ‌تر درست می‌کند تا عدسی‌ای که فاصلهٔ کانونی‌اش ۶۰ سانتیمتر است.

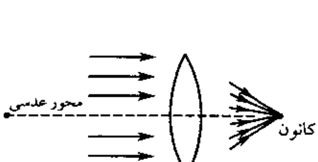
شکل (ب) ۲-۵. شکست یک شعاع نور در عبور از یک عدسی نازک. امتداد شعاع با عبور از هوا (A) به شیشه تغییر می‌کند. این امتداد بار دیگر هنگام عبور از شیشه به هوا (B) عوض می‌شود.



شکل (پ) ۲-۵ عدسی. همهٔ شعاع‌هایی که از نقطهٔ C به عدسی می‌رسد توسط عدسی شکسته می‌شوند و در نقطهٔ 'C همگرا می‌شوند. هر شعاع، مثلاً ۱ و ۲، هم در هنگام ورود به عدسی و هم هنگام خروج از آن می‌شکند.



شکل ۳-۵ کانون عدسی. کانون نقطه‌ای بر محور عدسی است که شعاع‌های موازی با محور در آن با هم تلاقی می‌کنند. (تنها قسمتی از مسیر شعاع‌ها نشان داده شده است).



مسئله ۳-۵:

فاصلهٔ کانونی یک عدسی ۱۵- f باگشودگی ۲۵ سانتیمتر را به‌دست آورید.

جواب: ۲۷۵ سانتیمتر.

فاصلهٔ کانونی معمولاً در حدود ۱۵ برابر گشودگی است.

۴-۵ یک تلسکوپ شکستی ساده

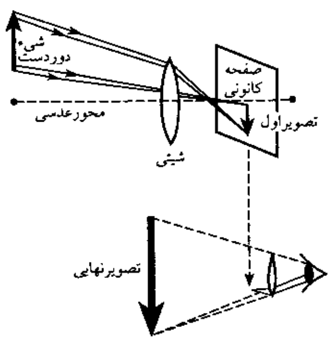
ساده‌ترین نوع تلسکوپ شکستی، فقط از دو عدسی تشکیل می‌شود. عدسی‌ای که به سمت شئ (ستاره، ماه و غیره) است، شیئی نامیده می‌شود. کار آن ایجاد تصویری از شیء مورد مشاهده است. عدسی دیگر که ناظر از آن تصویر را می‌بیند چشمی نام دارد.

اشیاء مورد توجه نجوم علی‌القاعده در فواصل دور قرار دارند. نوری که از نقاط جسم وارد شیئی می‌شود به صورت شعاع‌های متوازی است. تصویری که این شعاع‌های موازی ایجاد می‌کنند بر صفحهٔ کانونی تشکیل می‌شود. صفحهٔ کانونی، صفحه‌ای است که از کانون می‌گذرد و عمود بر محور عدسی است. تصویری که عدسی اول ایجاد می‌کند تصویر اول نام دارد.

عمل چشمی بزرگ نمودن تصویر اول است. برای دست یافتن به بزرگنمایی باید چشمی در جایی قرار گیرد که تصویر اول درست داخل کانون آن - یعنی بین چشمی و کانون ولی بسیار نزدیک به کانون باشد. باید توجه داشت که تصویر نهایی در چشم ناظر مقابل به زاویه‌ای است که بزرگ‌تر از زاویهٔ مربوطه به جسم است. بزرگ‌تر کردن این زاویه به بزرگنمایی زاویه‌ای معروف است. به شکل ۴-۵ نگاه کنید.

یکی از کارهای اصلی یک تلسکوپ ایجاد بزرگنمایی زاویه‌ای است.

شکل ۴-۵ یک تلسکوپ شکستی ساده. شیئی تصویری را در صفحهٔ کانونی عدسی تشکیل می‌دهد. این تصویر تصویر اول نام دارد. چشمی (که در اینجا در قسمت پایینی شکل ولی در واقع هم محور با عدسی چشمی، نموده شده) تصویر نهایی را که بزرگ شدهٔ تصویر اول است به وجود می‌آورد.



مسئله ۴-۵:

جسمی در چشم ناظر زاویهٔ °۲۰ می‌سازد و تصویر نهایی زاویه‌ای °۸۰، بزرگنمایی زاویه‌ای را پیدا کنید.

جواب: بزرگنمایی ۴ مرتبه است.

نوع سادهٔ تلسکوپ نجومی که شرح داده شد و از دو عدسی تشکیل شده است تنها برای بزرگنمایی‌های کم به کار می‌رود. چنین تلسکوپی را می‌توان تا ۱۰ مرتبه بزرگنمایی به ازای هر ۲٫۵ سانتیمتر قطر گشودگی شیئی مورد استفاده قرار داد. به این ترتیب اگر قطر گشودگی عدسی شیئی برابر ۶ سانتیمتر باشد تلسکوپ برای ۲۰ تا ۲۵ مرتبه بزرگنمایی زاویه‌ای قابل استفاده خواهد

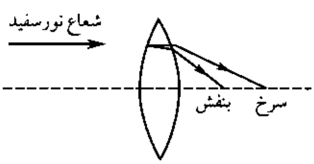
بود. «گشودگی» یک شیئی بخش شفاف شیئی است و قسمتی از کنارهٔ عدسی را که در گیره کار گذاشته شده است و نور از آن عبور نمی‌کند شامل نمی‌شود.

برای به دست آوردن بزرگنمایی بیشتر (مثلاً ۴۰ تا ۶۰ مرتبه) به ازای هر ۵ر۲ سانتیمتر قطر، شیئی باید چنان ساخته شود که از دو نقیصهٔ متداول عاری باشد. این نقیصه‌ها به «کجنمایی» معروف اند و معمولاً در عدسی‌های ساده وجود دارند. یکی از آنها به کجنمایی رنگی موسوم است و دیگری کجنمایی کروی نام دارد. چشمی نیز باید ساخت پیچیده‌تری داشته باشد.

۵-۵ کجنمایی رنگی

چون شعاع نور از عدسی بگذرد، تنها شکسته نمی‌شود بلکه به رنگ‌های تشکیل‌دهنده‌اش نیز تجزیه می‌شود. این خاصیت بسیار نامطلوبی برای عدسی به‌شمار می‌رود. هر شعاع نور «سفید» که از سمت چپ وارد عدسی می‌شود به رنگین کمان کوچکی از رنگ‌ها تجزیه می‌شود. اصطلاح «نور سفید» به معنی نور معمولی است که از خورشید، ستارگان و غیره ساطع می‌شود. این نور در واقع ترکیبی از رنگ‌های رنگین کمان است که خوب به هم آمیخته‌اند. چون هریک از رنگ‌هایی که در این نور سفید وجود دارد به زاویه‌ای می‌شکند که اندکی با زاویهٔ شکست رنگ‌های دیگر فرق دارد، عدسی این رنگ‌ها را «از هم جدا می‌سازد».

شکل (آ) ۵-۵. کجنمایی رنگی. مؤلفهٔ بنفش از همه بیشتر می‌شکند، در حالی که مؤلفهٔ سرخ‌رنگ نور سفید از همه کمتر خم می‌شود. همه رنگ‌های دیگر بین این دو حد قرار دارند.



در شکل (آ) ۵-۵ می‌توان دید که مؤلفهٔ بنفش نور سفید از همه بیشتر و جزء سرخ‌رنگ نور سفید از همه کمتر می‌شکنند. در نتیجهٔ این تفاوت در شکست، مؤلفه‌های بنفش‌رنگ نور در نقطه‌ای نزدیک‌تر به عدسی مجتمع می‌شوند تا اجزاء سرخ رنگ آن.

«اشکالی» که از این نقیصه ناشی می‌شود کاملاً آشکار است: رابطهٔ نقطه به نقطه دیگر برقرار نمی‌ماند. اشعه‌ای که از یک نقطهٔ شئ ساطع می‌شود دیگر در یک نقطه از تصویر همگرایی نمی‌کند. رنگ‌های متفاوت نور اصلی به فواصل متفاوتی از عدسی همگرا می‌شوند.

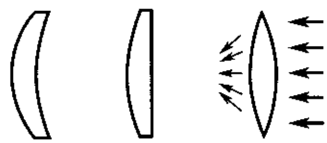
این نقیصهٔ عدسی‌های ساده، که در نتیجهٔ آن نور رنگ‌های مختلف در یک کانون جمع نمی‌شوند، کجنمایی رنگی نامیده می‌شود.

شکل (ب) ۵-۵. عدسی مرکب. چنین عدسی‌ای مرکب از دو یا چند جزء است که با بالسام کانادای شفاف به هم چسبیده یا لایه‌ای از هوا بین آنها قرار گرفته است. با انتخاب شیشه‌هایی با کیفیت مناسب برای هر جزء، می‌توان از کجنمایی رنگی تا حد زیادی کاست.



برای کاستن از آثار کجنمایی رنگی، امروزه عدسی‌ها را از دو جزء تشکیل دهنده می‌سازند که با بالسام کانادا به هم چسبانده شده به صورت یک واحد درآمده‌اند. به شکل (ب) ۵-۵ نگاه کنید. یک جزء عدسی مرکب عدسی‌ای همگرا است و دیگری عدسی‌ای واگرا.

شکل (پ) ۵-۵. سه نوع عدسی همگرا. هر عدسی که در وسط ضخیم‌تر از لبه‌ها باشد عدسی‌ای همگرا است. چنان که از اسمش برمی‌آید چنین عدسی‌ای سبب می‌شود که اشعهٔ نوری که از آن می‌گذرد به هم گرایند.



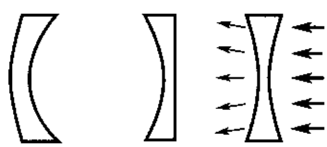
نکته: عدسی همگرا در مرکز ضخیم‌تر است تا در پیرامون. کار این عدسی آن است که همگرایی شعاع‌های نور را سبب می‌شود، یعنی شعاع‌ها را به‌هم نزدیک‌تر می‌سازد. عدسی واگرا در مرکز نازک‌تر است تا در پیرامون. این عدسی موجب واگرایی اشعه نور می‌شود. به شکل (پ)۵-۵ نگاه کنید.

عدسی همگرا از شیشهٔ کراون ساخته می‌شود که ماده‌ای است مناسب از این نظر که نور سفید را به میزان اندکی به رنگ‌های مختلف تجزیه می‌کند.

عدسی واگرا از شیشهٔ فلینت ساخته می‌شود که برای تجزیه نور بسیار بهتر از شکست آن است. این عدسی تجزیه‌ای را که توسط عدسی همگرا انجام شده خنثی می‌کند، اما شکستی را که به توسط عدسی اول ایجاد شده کاملاً از میان نمی‌برد. به شکل (ت) ۵-۵ نگاه کنید.

در نتیجه نور می‌شکند ولی تجزیه نمی‌شود، بدین طریق کجنمایی رنگی حذف می‌گردد.

شکل (ت) ۵-۵. سه نوع عدسی واگرا. هر عدسی‌ای که در وسط نازک‌تر از کناره‌ها است، عدسی‌ای واگرا است. همچنان که از نامش برمی‌آید این عدسی موجب واگرایی شعاع‌هایی می‌شود که از آن می‌گذرند.



این عدسی مرکب به عدسی آکروماتیک یا غیررنگی موسوم است و معمولاً به جای عدسی‌های شیئی تلسکوپ‌ها به کار می‌رود.

در واقع عدسی مرکب فقط نسبت به دو رنگ، مثلاً سبز و سرخ یا آبی و بنفش غیررنگی است. انتخاب دو رنگی که برای کانونی کردن دقیق به کار می‌روند بسته به کاربردی است که در آینده تلسکوپ خواهد داشت. سبز و سرخ برای شیئی‌هایی مناسب است که بیشتر برای مقاصد بصری به کار می‌روند، چه حساسیت چشم انسان نسبت به رنگ‌های انتهای سرخ طیف از همه بیشتر است. شیئی تلسکوپی که عمدتاً برای عکاسی به کار گرفته می‌شود، عدسی مرکبی است که رنگ‌های آبی و بنفش را در یک کانون متمرکز می‌کند، زیرا امولسیون‌های متداول عکاسی نسبت به انتهای آبی طیف حساس اند.

۵-۶ کجنمایی کروی (نقص عدسی از لحاظ شکل)

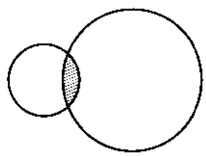
این، نقیصهٔ عدسی‌هایی است که سطوح‌شان کروی است. به شکل (آ) ٦-۵ نگاه کنید. اکثر عدسی‌ها چنین سطوحی دارند. سطح‌های پیشین و پسین این عدسی‌ها قسمت‌هایی از کره اند. این قبیل عدسی‌ها نمی‌توانند نور را به‌درستی کانونی کنند. شعاع‌های نوری که از نزدیکی لبهٔ این عدسی‌ها می‌گذرند بیش از شعاع‌های گذرنده از مرکز، شکسته می‌شوند. به این ترتیب شعاعی که در شکل (ب) ٦-۵ با حرف A مشخص شده نزدیک‌تر از شعاع B به مرکز، کانونی

می‌شود. دوباره رابطهٔ نقطه به نقطه برقرار نیست و حاصل تصویری تار است.

این نقیصه، کاملاً مستقل از کجنمایی رنگی است. کجنمایی کروی حتی وقتی که هیچ تجزیهٔ نوری هم صورت نپذیرد ممکن است وجود داشته باشد.

اگر سطوح عدسی به جای آن که کروی باشند، سهمی‌وار ساخته شوند، این نقیصه تصحیح می‌شود. انحنای یک عدسی سهمی‌وار در لبه‌ها کمتر از مرکز است و اشعهٔ موازی را در کانون مشخص واحدی جمع می‌کند.

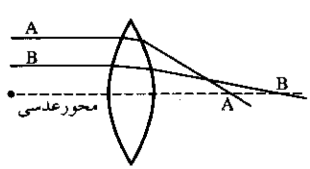
شکل (آ)۶-۵. عدسی‌های کروی. سطوح جلویی و عقبی یک عدسی معمولی قسمتی از یک کره است. چنین عدسی‌هایی نقیصه‌ای را در تصویر موجب می‌شوند که به کجنمایی کروی معروف است.



۵-۷ شیئی‌های تصحیح شده

در حال حاضر می‌توان شیئی‌های آکروماتیک را چنان ساخت که کجنمایی‌های رنگی و کروی را جبران کنند. لزومی ندارد که سطوح اجزای تشکیل دهندهٔ این عدسی سهمی‌وار باشد، بلکه از سطوح کروی نیز می‌توان استفاده کرد. ساخت آن از دو مرحله تشکیل می‌شود: نخست عدسی‌ساز انحنای کروی و نوع شیشه‌ای که برای هر جزء عدسی آکروماتیک لازم است انتخاب می‌کند. سپس با استفاده از اطلاعات علمی موجود، ترکیبی از انحناها را اختیار می‌کند که کجنمایی کروی را از میان می‌برد.

شکل (ب)۶-۵ کجنمایی کروی. شعاع نور A که نزدیک به لبه است، بیش از شعاع نور B شکسته می‌شود. به این ترتیب اشعهٔ موازی در یک کانون گرد نمی‌آیند. این نقیصه هیچ ربطی به رنگ نور ندارد. کجنمایی کروی، حتی وقتی که نور تکفام است هم وجود دارد.



در چنین طرحی عدسی همگرا از شیشهٔ کراون ساخته می‌شود. نسبت شعاع‌های سطوح کروی آن ۳: ۲ است؛ عدسی واگرا از فلینت ساخته می‌شود. یکی از وجوه آن تخت است و وجه دیگر آن چنان ساخته شده که با سطحی که شعاعش کمتر است جفت می‌شود. این عدسی مرکب هیچ کجنمایی کروی ندارد و از نظر کجنمایی رنگی نیز تصحیح شده است.

برای شیئی تلسکوپ، عدسی «آپوکرومات»[1] سه تکه، بسیار بهتر از عدسی آکروماتیک معمولی است. در یک عدسی آپوکرومات به جای دو رنگ در عدسی آکروماتیک معمولی سه رنگ یا بیشتر به طور همزمان کانونی می‌شوند. این عدسی نیز کاملاً عاری از کجنمایی کروی است.

۵-۸ چشمی‌ها

چشمی چیزی نیست مگر ذره‌بینی با فاصلهٔ کانونی کوتاه، و معمولاً از دو عدسی تشکیل می‌شود: یکی عدسی میدان و دیگری عدسی دید. چشم ناظر در نزدیکی عدسی دید قرار می‌گیرد. دو عدسی به وضعی ثابت در داخل لولهٔ متحرکی سوار می‌شوند که می‌تواند در داخل لولهٔ اصلی تلسکوپ جلو و عقب برود.

1- Apochromat

شکل ۸-۵ میدان دید ظاهری. چون در یک چشمی نگاه کنیم، دایره‌ای از نور می‌بینیم. زاویه‌ای که قطر این دایره در چشم می‌سازد، میدان دید ظاهری نامیده می‌شود. این زاویه برای هر چشمی مقدار ثابتی است.



کار عمدهٔ عدسی میدان گرد آوردن شعاع‌های نور از شیئی و هدایت آن به سمت عدسی معمولاً کوچکتر دید است. کار عمدهٔ عدسی دید بزرگنمایی است.

در سال‌های اخیر چشمی‌های زیادی طرح و به بازار عرضه شده است. سه نوع مفید آن عبارت اند از: چشمی هویگنسی، چشمی کِلِنر[1] و چشمی ارتوسکوپیک[2]. کیفیت یک چشمی را عوامل زیر تعیین می‌کنند:

آ. ساخت.

ب. فاصلهٔ کانونی.

پ. میدان دید ظاهری.

به عنوان مثال شرح کامل یک چشمی نمونه به این صورت است: هویگنسی، فاصلهٔ کانونی ۲۷ میلیمتر، میدان دید ظاهری °۵۰، یا کلنر، فاصلهٔ کانونی ۴۰ میلیمتر، میدان دید ظاهری °۴۰.

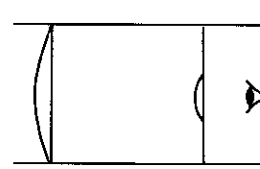
زاویه‌ای که قطر دایرهٔ دید در چشم ناظر می‌سازد برای هر چشمی مقدار ثابتی است خواه با تلسکوپ به کار رود خواه به‌تنهایی.

گوشزدها: ۱. فاصلهٔ کانونی، مربوط به کل چشمی یعنی مجموعهٔ عدسی میدان و عدسی دید است.

۲. میدان دید ظاهری زاویه‌ای است که تحت آن قطر دایرهٔ دید از چشمی دیده می‌شود. به شکل ۸-۵ نگاه کنید.

۹-۵ چشمی هویگنسی

شکل ۹-۵ چشمی هویگنسی. این چشمی از دو عدسی تخت-کوژ به فاصله‌ای در حدود ۲٫۵ سانتیمتر از یکدیگر، تشکیل شده است. طرف تخت عدسی در سمت چشم قرار دارد.



این چشمی از دو عدسی تخت-کوژ که طرف کوژ آنها دور از چشم است، تشکیل می‌شود. به شکل ۹-۵ نگاه کنید. چشمی نمونه‌ای که فاصلهٔ کانونی آن ۲۵ میلیمتر است ممکن است از یک عدسی دید به قطر ۱۲ میلیمتر و فاصلهٔ کانونی ۱۶ میلیمتر و یک عدسی میدان به قطر ۲۶ میلیمتر و فاصلهٔ کانونی ۴۸ میلیمتر تشکیل شود و فاصلهٔ بین دو عدسی ۳۲ میلیمتر باشد.

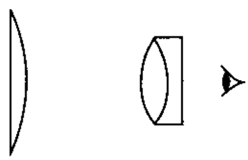
میدان دید ظاهری چشمی‌های هویگنسی خوب °۵۰ است. این چشمی‌ها بیشتر در مواقعی به کار می‌روند که چنین زوایای بزرگی لازم است. نقص‌های نوری معمولاً در چشمی هویگنسی کاملاً تصحیح نشده‌اند. در نتیجه کاربرد آنها به بزرگنمایی‌های کم محدود می‌شود.

1- Kellner 2- Orthoscopic

۵-۱۰ چشمی کِل‌نر

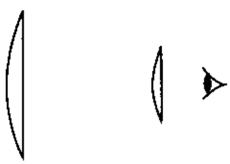
این چشمی که نوع پیشرفته‌تر چشمی اولیه‌ای موسوم به چشمی رمزدن[1] است، برای بزرگنمایی‌های متوسط بسیار متداول است. این چشمی از یک عدسی تخت -کوژ، که طرف تخت آن به سمت شیئی است و عدسی دید آکروماتیکی به قطر کمتر تشکیل شده است. یک عدسی کل‌نر نمونه با فاصلهٔ کانونی ۲۵ میلیمتر، از یک عدسی میدان به قطر ۲۸ میلیمتر و فاصلهٔ کانونی ۴۱ میلیمتر و یک عدسی دید آکروماتیک به قطر ۱۸ میلیمتر و فاصلهٔ کانونی ۳۲ میلیمتر تشکیل شده است. فاصلهٔ بین دو عدسی ۲۰ میلیمتر است. به شکل (آ) ۱۰-۵ نگاه کنید.

شکل (آ) ۱۰-۵ چشمی کل‌نر. این چشمی از یک عدسی میدان تخت-کوژ، که طرف تخت آن به سمت شیئی است، و یک عدسی دید آکروماتیک تشکیل شده است.



در چشمی اولیهٔ رمزدن تصحیحی برای کجنمایی رنگی به عمل نیامده بود (شکل ب ۱۰-۵).

شکل (ب) ۱۰-۵ چشمی رمزدن.

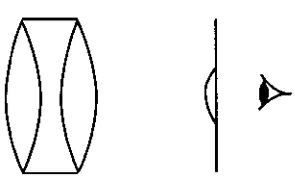


۵-۱۱ چشمی ارتوسکوپیک

این چشمی از بهترین انواع چشمی‌های موجود و مخصوص بزرگنمایی زیاد است و تشکیل شده است از یک عدسی میدان، که خود مرکب از سه جزء است و یک عدسی دید تخت -کوژ. سه جزء عدسی میدان عبارت است از یک عدسی دوسوکاو فلینت که بین دو عدسی دوسوکوژ کراون قرار گرفته است. عدسی دید تخت -کوژ و نزدیک به عدسی میدان قرار دارد و وجه تخت آن به طرف چشم است. عدسی‌ها از نظر کجنمایی‌های رنگی و کروی هر دو تصحیح شده‌اند و در نسبت‌های عادی تصویر روشنی را پدید می‌آورند. به شکل ۱۱-۵ نگاه کنید.

وقتی تلسکوپی که منظور اصلی آن رؤیت با چشم است برای عکس‌برداری به کار می‌رود، در محل چشمی یک گیرهٔ صفحهٔ عکاسی قرار داده می‌شود.

شکل ۱۱-۵ چشمی ارتوسکوپیک. عدسی میدان از سه جزء، شیشهٔ کراون، شیشه فلینت و شیشهٔ کراون تشکیل شده است که با بالسام کانادا به هم چسبانده شده‌اند. عدسی دید که خیلی نزدیک به عدسی میدان کار گذاشته می‌شود، عدسی‌ای تخت- کوژ است که وجه تخت آن در طرف چشم قرار دارد.



۵-۱۲ اندودن عدسی‌ها

تنها قسمتی از نوری که وارد تلسکوپ می‌شود از عدسی‌های گوناگون آن می‌گذرد. بخش قابل ملاحظه‌ای از آن از سطوح نوری منعکس می‌شود. بازتاب‌هایی که از سطوح کروی بازمی‌تابد تصویرهای ثانوی مزاحمی را به وجود می‌آورد و به میزان قابل ملاحظه‌ای از وضوح تصویر اصلی می‌کاهد.

در سال‌های اخیر با اندودن سطح شیشه، از این نقیصه کاسته اند. سطح را با

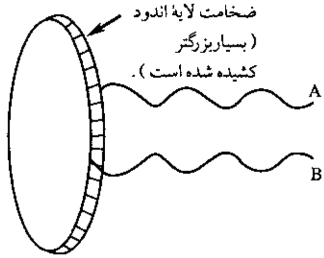
1- Ramsden

لایه‌ای شفاف و نازک که معمولاً از جنس فلوئورید منیزیم است اندود می‌کنند. این لایه موجب می‌شود که امواج نوری که از سطح زبرین اندود منعکس می‌شود با نوری که از سطح زیرین آن بازمی‌تابد تداخل کند و به این ترتیب نور بازتابیده حذف شود. این تداخل نابودکننده فقط در صورتی روی می‌دهد که ضخامت اندود دقیقاً برابر یک چهارم طول موج باشد. شکل ۱۲-۵ جزئیات واقعه را نشان می‌دهد.

شعاع B از سطح زیرین اندود منعکس شده و در نتیجه دوبار آن لایه را پیموده است، یک بار در ورود خود به لایه و یک بار هم در بازگشت پس از انعکاس از سطح عدسی. این شعاع به اندازهٔ نصف طول موج با شعاع A که از سطح زبرین اندود منعکس شده ناهمگام است.

برآمدگی‌های شعاع B با فرورفتگی‌های شعاع A به تداخل نابودکننده می‌پردازد و در نتیجه اشعهٔ بازتاب حذف می‌شود.

شکل ۱۲-۵ اندودن عدسی. موج A از سطح زبرین لایهٔ اندود منعکس شده است و موج B از سطح زیرین آن (یعنی از سطح عدسی). ضخامت این لایه چنان است که تداخل میان این دو موج را سبب می‌شود و به حذف بازتاب‌های مزاحم از این دو سطح می‌انجامد.



گوشزدها: ۱- نظریه‌ای که نور را موجی الکترومغناطیسی می‌شمارد، بسیاری از پدیده‌های نوری را توضیح می‌دهد. «شعاع‌های نور» صرفاً خطوطی اند که امتداد انتشار موج را نشان می‌دهند.

۲- پدیدهٔ تداخل (یعنی دو شعاع نور، اگر با یکدیگر ناهمگام باشند موجب تاریکی می‌شوند) یکی از دلایل موجی بودن نور است.

۳- معمولاً ضخامت لایهٔ اندود چنان ساخته می‌شود که با یک چهارم طول موج نور سبز متمایل به زرد که چشم آدمی به آن از همهٔ رنگ‌ها حساس‌تر است، برابر باشد.

با اندود کردن عدسی‌های تلسکوپ، وضوح تصویر تا ۳۰ درصد افزایش پیدا می‌کند.

۱۳-۵ توان‌های سه گانهٔ تلسکوپ

تلسکوپ سه کار انجام می‌دهد:

۱- روشنی ظاهری شئ را افزایش می‌دهد. این افزایش روشنی به توان جمع‌آوری نور تلسکوپ بستگی دارد.

۲- جزئیاتی را که با چشم برهنه نمی‌توان دید واضح می‌سازد. این که تلسکوپی این کار را با چه کیفیتی انجام می‌دهد به توان تفکیک تلسکوپ بستگی دارد.

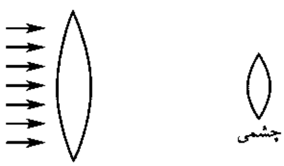
۳- شئ را بزرگ‌تر می‌نماید یا موجب می‌شود که نزدیک‌تر به چشم

آید. چگونگی انجام این کار در تلسکوپ بسته به توان بزرگنمایی تلسکوپ است.

۵-۱۴ توان جمع‌آوری نور یک تلسکوپ

احتمالاً مهم‌ترین کار یک تلسکوپ جمع آوردن مقدار زیادی نور از یک ستاره است. تلسکوپ «این نور را به هم می‌فشرد» و به صورت تابهٔ باریکی درمی‌آورد که وارد مردمک چشم می‌شود. به شکل ۱۴-۵ نگاه کنید.

توان جمع آوری نور رؤیت ستارگانی را ممکن می‌سازد که قدرشان از ۶ بیشتر است، یعنی ستاره‌های کم‌فروغی که با چشم برهنه دیده نمی‌شوند. توان جمع آوری نور فقط به عدسی شیئی بستگی دارد و با مساحت آن متناسب است یا: توان جمع‌آوری نور با مجذور قطر عدسی شیئی متناسب است.



شکل ۱۴-۵ توان جمع‌آوری نور یک تلسکوپ. همهٔ شعاع‌هایی که وارد عدسی بزرگ شیئی می‌شوند از چشمی کوچک بیرون می‌روند. این تمرکز نور روشنی ظاهری جسم را بسیار افزایش می‌دهد.

قطر مردمک چشم در هنگام شب تقریباً ۶ میلیمتر است. به تلسکوپی که قطر شیئی آن ۲ر۴ سانتیمتر است، ۱۶=$۴^۲$ مرتبه بیش از چشم برهنه نور وارد می‌شود. به یک تلسکوپ ۴ر۸ سانتیمتری ۶۴=$۸^۲$ بار بیشتر نور وارد می‌شود و الی آخر. تجربه این نظر را تأیید می‌کند. بنابراین با یک تلسکوپ ۵ سانتیمتری ستارگانی را می‌توان رصد کرد که ۶۴ بار کم نورتر از یک ستارهٔ قدر ششم اند. این ستاره‌ها از ردیف قدر ۱۰ر۵ خواهند بود.

به همین ترتیب می‌توان حساب کرد که با یک شیئی ۱۵ سانتیمتری ستارگان قدر ۱۲ر۹ را می‌توان رصد کرد و با یک شیئی ۳۸ سانتیمتری ستاره‌های قدر ۱۴ر۹ را می‌توان دید.

۵-۱۵ توان تفکیک یک تلسکوپ

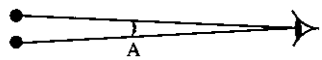
توان تفکیک رابطه‌ای نزدیک با رؤیت واضح جزئیات دارد.

هرچه توان تفکیک تلسکوپی بیشتر باشد جزئیات واضح‌تر خواهند بود. بنابراین نقطه‌ای نورانی که به چشم برهنه، یک ستاره می‌آید، چون با تلسکوپی که توان تفکیکش زیاد است مشاهده شود ممکن است به دو یا چند ستاره تفکیک شود. داشتن درک روشنی از توان تفکیک، مهم است و از این رو ما اندکی بیشتر به آن می‌پردازیم. دو نقطهٔ نورانی، مثلاً دو شمع را در نظر بگیرید. در فاصلهٔ چند متری این دو شمع به صورت چشمه‌های نور جدا از هم به نظر می‌رسند. چون فاصله بیشتر شود، این دو یکی شده به صورت نقطهٔ نورانی نسبتاً محو و غیرواضحی درمی‌آیند. آزمایش نشان می‌دهد که دو نقطهٔ نورانی را نمی‌توان از یکدیگر تفکیک کرد هرگاه زاویهٔ A که آن دو در چشم

می‌سازند کمتر از تقریباً ۶ دقیقه باشد: توان تفکیک چشم معمولی ۶ دقیقه است. به شکل (آ) ۱۵-۵ نگاه کنید.

عدم توانایی در تفکیک نقاطی که زاویه‌ای کمتر از ۶ دقیقه می‌سازند معلول یکی از خواص بنیادی نور است که پراش نام دارد. بر اثر پراش هر نقطهٔ نورانی جسم، تبدیل به یک نقطه نورانی بر شبکیه نمی‌شود، بلکه به صورت قرص کوچکی درمی‌آید. برای هر نقطه از جسم، یک قرص تصویر وجود دارد. این قرص که معمولاً آن را تصویر «جعلی» یا «الگوی پراش» می‌نامند، ساختمان نسبتاً پیچیده‌ای دارد، دارای یک لکه مرکزی پرنور است که تقریباً ۸۵ درصد کل نور را شامل می‌شود و با حلقه‌هایی تاریک و روشن، یکی در میان، احاطه شده است. روشنی حلقه‌های روشن، از داخل به سمت لبهٔ قرص، به سرعت کاهش می‌یابد.

شکل (آ) ۱۵-۵ توان تفکیک یک تلسکوپ. وقتی زاویهٔ A، که دو نقطهٔ نورانی به رأس چشم می‌سازند، از ۶ دقیقه کمتر باشد، چشم دیگر آنها را چون دو نقطهٔ متمایز از هم تشخیص نمی‌دهد. این مطلب را می‌توان به این صورت نیز بیان کرد که چشم قسمت‌هایی از یک شیئی را که روبرو به زوایایی کمتر از ۶ دقیقه اند به اجزاء آن تفکیک نمی‌کند.



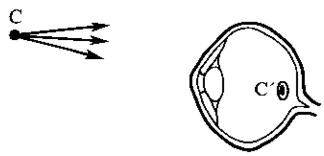
به این ترتیب نوری که از نقطهٔ C ساطع می‌شود، در واقع نقطهٔ C' را پدید نمی‌آورد بلکه تصویر «جعلی» C' را بر شبکیه تشکیل می‌دهد. به شکل (ب) ۱۵-۵ نگاه کنید.

اگر نقطهٔ دوم E (که در شکل نشان داده نشده است) زاویه‌ای کمتر از ۶ دقیقه با نقطهٔ C بسازد، تصویر جعلی آن E'، تا حد زیادی بر C' منطبق می‌شود. مغز دیگر نمی‌تواند میان این دو نقطه جدا از هم تمیز قایل شود. چشم نمی‌تواند E را از C تفکیک کند و هر دو را به صورت یک نقطهٔ نورانی که اندکی دراز شده است، می‌بینند.

رابطهٔ «نقطه به نقطه» بین جسم و تصویر، واقعیت را بیش از حد ساده جلوه می‌دهد. در حقیقت رابطه، رابطهٔ «نقطه به قرص» است. به سهولت می‌توان دید که هرچه اندازهٔ این قرص‌ها کوچک‌تر باشد جزئیات بیشتری دیده خواهد شد.

نظریهٔ نورشناختی ثابت می‌کند که هر چه عدسی شیئی بزرگ‌تر باشد قطر قرص کوچک‌تر خواهد بود.

شکل (ب) ۱۵-۵ تصویر جعلی. نوری که از C ساطع می‌شود، آن طور که معمولاً برای سهولت فرض می‌شود در نقطهٔ C' همگرا نمی‌شود. تصویر هر نقطهٔ نورانی بر شبکیه، مجموعه کوچکی از دوایر متحدالمرکز تاریک و روشن است.



نظریهٔ نورشناختی و نیز تجربه نشان می‌دهد که توان تفکیک یک تلسکوپ فقط به قطر شیئی بستگی دارد. بنابراین ستاره‌هایی که در یک تلسکوپ کوچک به صورت یک واحد به چشم می‌آیند، تنها وقتی که با تلسکوپی رصد شوند که عدسی شیئی آن بزرگ‌تر است ممکن است به دو یا چند همسایهٔ نزدیک به هم تفکیک شوند.

فرمول ساده‌ای قطر شیئی را به توان تفکیک مربوط می‌سازد:

$$\text{توان تفکیک} = \frac{۱۲٫۵}{\text{قطر شیئی}}$$

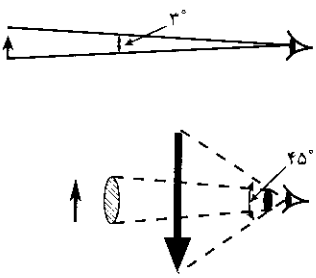
در این فرمول قطر را باید بر حسب سانتیمتر قرار داد و توان تفکیک بـر حسب ثانیهٔ قوس به دست می‌آید.†

تلسکوپی با شیئی ۵ سانتیمتری می‌تواند دو ستاره را که در چشم راصـد زاویه‌ای برابر ۲٫۵ ثانیهٔ قوس با هم می‌سازند، تفکیک کند.

۵-۱۶ توان بزرگنمایی یک تلسکوپ

تلسکوپ زوایا را بزرگ می‌نماید. یکی از کارهای اصلی این وسیله بـزرگ نمودن زوایایی است که اشیاء مورد مشاهده تحت آنها رؤیت می‌شوند؛ این کار بزرگنمایی زاویه‌ای نامیده می‌شود. به این ترتیب اگر بدون تلسکوپ جسمی تحت زاویهٔ °۳ دیده شود و با تلکسوپ تصویر آن تحت زاویهٔ °۴۵ رؤیت شود، بزرگنمایی ۱۵ مرتبه است. به شکل (آ) ۱۶-۵ نگاه کنید.

بزرگنمایی زاویه‌ای تنها بزرگنمایی‌ای است که یک تـلسکوپ انـجام می‌دهد. افزایش زاویه، تصور نزدیک‌تر شدن را سبب می‌شود و به این ترتیب موجب می‌شود که تصویر نزدیک‌تر از شئ به چشم آید.



شکل (آ)۱۶-۵ تـوان بـزرگنمایی یک تلسکوپ. شئ با چشم برهنه تحت زاویهٔ °۳ دیده می‌شود. تصویر همان شئ (شکل زیرین) در تـلسکوپ تـحت زاویـهٔ °۴۵ رؤیت مـــی‌شود. تـــوان بـــزرگنمایی تلسکوپ عبارت است از: برابر $\frac{۴۵}{۳}=۱۵$

مسئله (آ) ۱۶-۵:

ماه به چشم ناظر، تحت زاویهٔ تقریبی $\frac{۱}{۲}$ درجه دیده می‌شود. وقتی که بـا تلسکوپی مشاهده شـود، تـصویر آن زاویـهٔ ۴ درجـه مـی‌سازد. بـزرگنمایی زاویه‌ای را حساب کنید.

جواب: $۴:\frac{۱}{۲}=۸$ بار

توان بزرگنمایی هر تلسکوپ به فاصلهٔ کانونی عدسی شیئی و بـه فـاصلهٔ کانونی چشمی بستگی دارد.

بزرگنمایی زاویه‌ای یک تلسکوپ با فرمول سادهٔ زیر بیان می‌شود:

$$\text{بزرگنمایی زاویه‌ای} = \frac{f_{\text{شیئی}}}{f_{\text{چشمی}}}$$

† در واقع توان تفکیک از رابطهٔ

$$\text{توان تفکیک} = ۲٫۵۲\times۱۰^{۵}\,\frac{(\text{طول موج})}{(\text{قطر شیئی})}$$

به دست می‌آید که چون طول موج ۵×۱۰^{-۵} سانتیمتر (نور سبز) را در آن قرار دهیم رابطهٔ بالا به دست می‌آید.

ذکر یک نکته مهم در اینجا ضروری است. آنچه در اینجا توان تفکیک یک دستگاه نامیده شده، کوچک‌ترین فاصلهٔ زاویه‌ای دو نقطه از یکدیگر است که با این دستگاه قـابل تفکیک است. هرچه این زاویه کوچک‌تر باشد، گفته می‌شود که توان تفکیک بیشتر است. م

$f_{\text{شیئی}}$ نمایندهٔ فاصلهٔ کانونی شیئی است. این فاصله معمولاً بر حسب اینچ یا میلیمتر بیان می‌شود.

$f_{\text{چشمی}}$ فاصلهٔ کانونی چشمی است. این فاصله بر حسب همان واحد $f_{\text{شیئی}}$ بیان می‌شود. فاصلهٔ کانونی یک عدسی، فاصلهٔ کانون آن از مرکز عدسی است.

(در بیشتر تلسکوپ‌ها تصویر، معکوس به نظر می‌رسد. یک ستاره، حتی با بیشترین بزرگنمایی ممکن هم چون نقطه‌ای نورانی به چشم می‌آید. این که تصویر معکوس است، مهم نیست).

ظاهراً فرمول بزرگنمایی حاکی از آن است که برای بزرگنمایی، حدی وجود ندارد. هر بزرگنمایی مورد نظری، مثلاً یک میلیون مرتبه، را می‌توان به یکی از سه طریق زیر به دست آورد.

(آ) با بزرگ کردن فاصلهٔ کانونی شیئی، یعنی با به کار بردن عدسی‌ای که در مرکز فقط اندکی کلفت‌تر از لبه‌هاست.

(ب) با کوچک‌تر کردن فاصلهٔ کانونی چشمی. عملاً یعنی استفاده از عدسی‌ای که در مرکز بسیار کلفت‌تر از لبه‌هاست.

(پ) با ترکیب (آ) و (ب).

آنچه فرمول بر آن دلالت دارد درست است. از لحاظ نظری، حدی برای بزرگنمایی وجود ندارد. اما در استفاده از بزرگنمایی‌های خیلی زیاد، چهار محدودیت مهم وجود دارد:

(آ) بزرگ نمودن، با بزرگ کردن اندازهٔ تصویر جعلی، از وضوح تصویر می‌کاهد. هر چه بزرگنمایی بیشتر باشد وضوح و تمایز تصویر کمتر است. هیچ فایده‌ای ندارد که با افزایش بزرگنمایی از توان تفکیک تلسکوپ فراتر رویم.

(ب) افزایش بزرگنمایی موجب کاهش روشنی تصویر می‌شود. مقدار نور واحدی بر سطح بزرگ‌تری پخش می‌شود و نتیجهٔ آن کم‌نور بودن تصویر است.

(پ) افزایش بزرگنمایی میدان دید واقعی را کم می‌کند. با دو برابر کردن بزرگنمایی قطر زاویه‌ای دید نصف می‌شود.

رابطهٔ میان بزرگنمایی و میدان دید واقعی، در شکل (ب) ۱۶-۵، (A)،(B) و (C) نشان داده شده است. در هر سه منظره، تلسکوپ به امتداد واحدی قراول رفته است.

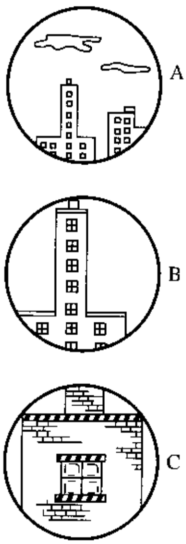
در بزرگنمایی کم، بام دو خانه و بخش وسیعی از آسمان در میدان دید است (A).

در بزرگنمایی بیشتر، فقط برج یکی از خانه‌ها را در تلسکوپ می‌توان

دید (B).

در بزرگنمایی بازهم بیشتر، یک پنجره تمامی میدان دید را می‌گیرد (C).

شکل (ب)۱۶-۵



از اصطلاح فنی میدان دید در ارتباط با تلسکوپ زیاد استفاده می‌شود. بنا به تعریف میدان دید نسبت دو کمیت دیگر است که از ویژگی‌های هر تلسکوپ اند. این کمیت‌ها عبارت اند از (۱) میدان دید ظاهری چشمی و (۲) بزرگنمایی زاویه‌ای تلسکوپ.

$$\text{میدان دید واقعی} = \frac{\text{میدان دید ظاهری چشمی}}{\text{بزرگنمایی}}$$

میدان دید ظاهری هر چشمی کمیت ثابتی است و آن را معمولاً سازندهٔ آن بر حسب درجهٔ قوس در اختیار ما می‌گذارد. بزرگنمایی را به سهولت می‌توان با تقسیم $f_{\text{شیئی}}$ بر $f_{\text{چشمی}}$ تعیین کرد.

مسئلهٔ (ب)۱۶-۵:

میدان دید ظاهری چشمی تلسکوپی ۴۰° است. فاصلهٔ کانونی آن ۱۰ میلیمتر است. فاصلهٔ کانونی شیئی ۸۰۰ میلیمتر است. (آ) توان بزرگنمایی و (ب) میدان دید واقعی را پیدا کنید.

جواب:

آ. $$\text{توان بزرگنمایی} = \frac{f_{\text{شیئی}}}{f_{\text{چشمی}}} = \frac{۸۰۰}{۱۰} = ۸۰ \ \text{بار}$$

ب. $$\text{میدان دید واقعی} = \frac{\text{میدان دید ظاهری}}{\text{بزرگنمایی}} = \frac{۴۰}{۸۰} = \frac{۱}{۲} \ \text{درجه}$$

معنی این $\frac{۱}{۲}$ درجه این است که ناظر چون در این تلسکوپ نگاه کند دایره‌ای را که در چشم او زاویهٔ $\frac{۱}{۲}$ درجه می‌سازد می‌بیند. نیم درجه تقریباً قطر زاویه‌ای ماه است.

(ت) افزایش بزرگنمایی، چشمک زدن ستارگان را تشدید می‌کند و به طور اساسی مشاهدهٔ ستاره‌هایی را که نزدیک یکدیگر اند مختل می‌سازد. چشمک زدن ستارگان که بسیار مورد توجه برخی از شاعران است، منبع دردسر بزرگی برای رصدکنندهٔ نجومی به شمار می‌رود. چشمک زدن در واقع تغییرات سریع در روشنی ظاهری و رنگ ستاره است که با تموج‌های سریع در مکان ظاهری آن همراه است. این تغییرات و تموج‌ها کاملاً معلول اثر جو زمین بر نور

ستاره‌ای است که از آن می‌گذرد. این تغییرات در یک تلسکوپ بزرگ بسیار بزرگ می‌شود. چندان نامعمول نیست که تلسکوپی بزرگ در شبی کاملاً بی‌ابر، بر اثر شرایط بد «دید» عملاً بی‌فایده شود.

به این چهار دلیل، حدی عملی برای حداکثر بزرگنمایی وجود دارد. حداکثر بزرگنمایی معمولاً کمتر از ۵۰ بار به ازای هر ۲٫۵ سانتیمتر از قطر شیئی در نظر گرفته می‌شود. یک تلسکوپ ۱۰ سانتیمتری حداکثر باید تا بزرگنمایی ۲۰۰ بار مورد استفاده قرار گیرد.

حداقلی نیز برای بزرگنمایی مفید وجود دارد که معمولاً ۴ بار به ازای هر ۲٫۵ سانتیمتر از قطر شیئی است. اگر بزرگنمایی از این کمتر باشد، ستون نوری که از چشمی خارج می‌شود برای ورود به مردمک چشم بسیار بزرگ خواهد بود و قسمتی از نور به هدر خواهد رفت.

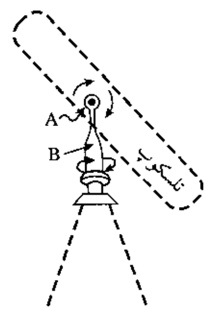
۵-۱۷ روش‌های استقرار تلسکوپ

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک تلسکوپ و چیزی که در آن مهارت مهندسی و استادی بسیار به کار می‌رود، پایهٔ تلسکوپ است.

یک لولهٔ بلند میل به نوسان کردن دارد و این نوسان موجب «رقصیدن» ستارگان می‌شود. یک پایهٔ محکم خوب به میزان زیاد از این نوسان‌ها می‌کاهد.

طرح پایهٔ تلسکوپ باید چنان باشد که بتوان تلسکوپ را به هر نقطه‌ای در آسمان، از افق تا سمت‌الرأس و به هر زاویهٔ سمتی از °۰ تا °۳۶۰ قراول رفت. ساده‌ترین سیستمی که این کار را انجام می‌دهد ترکیبی از محورهای افقی و قائم است. تلسکوپ از طریق محوری افقی به دو شاخه‌ای متصل می‌شود و در نتیجه می‌تواند از افق تا سمت‌الرأس دوران کند و ارتفاع‌های مختلف را اختیار کند. دو شاخه به نوبهٔ خود می‌تواند حول محوری قائم دوران کند و دایرهٔ افقی ۳۶۰ درجه‌ای را بپیماید. این طرز استقرار، استقرار سمت-ارتفاعی است. به شکل (آ) ۱۷-۵ نگاه کنید.

شکل (آ) ۱۷-۵ استقرار سمت-ارتفاعی: تلسکوپ می‌تواند حول محور افقی A دوران کند و به این ترتیب می‌تواند به هر ارتفاعی از افق تا سمت‌الرأس قراول رود. تلسکوپ همراه با محور افقی، می‌تواند حول محور عمودی (B) دوران کند و هر زاویه سمتی را از °۱ تا °۳۶۰ اتخاذ کند.



استقرار سمت-ارتفاعی اغلب برای تعیین فوری مقادیر ارتفاع و سمت ستارگان یا اجرام سماوی دیگر به کار می‌رود. آن را نمی‌توان به سهولت در رصد دراز مدت یا عکس‌برداری طولانی به کار بست، زیرا ارتفاع و سمت ستاره‌ها پیوسته تغییر می‌کند. تلسکوپی را که استقرار آن سمت-ارتفاعی باشد باید پیوسته از حیث زوایای قائم و افقی تنظیم کرد.

گوشزد: در تلسکوپ ٦ متری مستقر در تفلیس استقرار سمت-ارتفاعی به کار

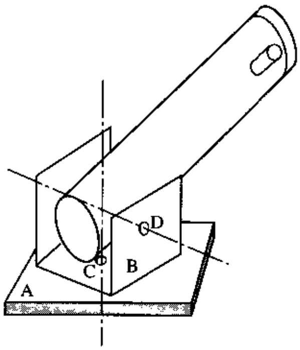
رفته است. استعمال چنین استقراری در اینجا به علت وزن عظیم قسمت‌های متحرک آن (۷۵۰ تن) بوده است. رایانه‌ای رقمی برای تنظیم آن، برنامه‌ریزی شده است.

* استقرار دابسونی، نوعی استقرار سمت - ارتفاعی است که در آن پایهٔ ثابت تلسکوپ مستقیماً روی زمین قرار می‌گیرد. جان دابسون، تلسکوپ‌ساز آمریکایی، مخترع آن است. این نحوهٔ استقرار مناسب تلسکوپ‌های بزرگ آماتوری از نوع نیوتنی است. (نگاه کنید به بخش ۲۰-۵). پایهٔ استقرار دابسونی معمولاً از تختهٔ چندلایی است و از یاتاقان‌های تفلونی به جای محورها استفاده می‌شود. تخته ارتعاشات ناشی از زمین را تضعیف می‌کند. یاتاقان‌های تفلونی، حرکت تلسکوپ را نرم می‌سازد. شکل (ب) ۱۷-۵ تلسکوپی را با استقرار دابسونی نشان می‌دهد. پایهٔ چوبی ثابت A بر سطح صاف و افقی زمین قرار می‌گیرد. «دوشاخهٔ» B به کمک یاتاقان C حول محور قائم می‌گردد و زاویهٔ سمت به این طریق مشخص می‌شود. لولهٔ تلسکوپ به کمک یاتاقان D می‌گردد و زاویهٔ ارتفاع مشخص می‌شود. تلسکوپ‌های دابسونی را می‌توان با میزچه‌های استقرار معدل‌النهاری هم مجهز کرد. این میزچه‌ها شیب‌دار اند و شیب آنها مانع حرکت تلسکوپ در گسترهٔ کامل زوایا می‌شود. *

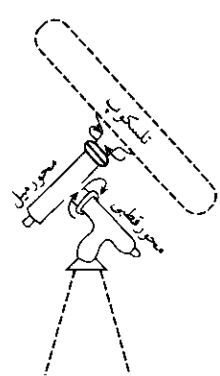
استقرار استوایی یا معدل النهاری به منظور آن طرح شده است که یک ستاره را برای مدتی دراز در میدان دید نگه دارد. به شکل (پ) ۱۷-۵ نگاه کنید. فقط لازم است که یک زاویه به طور دایم تنظیم شود. این تنظیم کردن معمولاًبه کمک موتور کوچکی انجام می‌گیرد. در این طرز استقرار نیز دو محور وجود دارد. این دو محور نیز عمود بر یکدیگر اند. یکی از این دو به محور قطبی موسوم است و چنان تعبیه می‌شود که موازی محور عالم باشد. محور دیگر که به محور میل موسوم است، حول محور قطبی دوران می‌کند. تلسکوپ به انتهای محور میل متصل است و می‌توان آن را حول این محور به هر زاویهٔ میلی چرخاند. همین که ستاره‌ای با زاویهٔ میل معین در معرض دید قرار گرفت، قید تلسکوپ را به محور میل می‌توان محکم کرد، زیرا میل یک ستاره کمیتی است که تغییر نمی‌کند.

برای آن که ستاره در میدان دید بماند، باید تلسکوپ همراه با محور میل حول محور قطبی دوران کند. هر گاه این حرکت به درستی، به وسیلهٔ موتوری تنظیم شود تلسکوپ، پیوسته ستاره را در مسیر خود دنبال خواهد کرد و همواره

* شکل (ب) ۱۷-۵استقرار دابسونی



شکل (پ) ۱۷-۵ استقرار استوایی. تلسکوپ را حول محور میل دوران می‌دهیم تا میل مورد نظر به دست آید و سپس قید را محکم می‌کنیم.
تلسکوپ همراه با محور میل دوران می‌کند تا شئ را همواره در میدان دید نگه دارد.



ستاره را در میدان دید خود خواهد داشت.

موتور باید چنان تنظیم شده باشد که در یک شبانه‌روز یک دور کامل بزند.

با تلسکوپی که استقرار آن استوایی است، می‌توان ستاره‌ای را که اطلاعات مربوط به زاویهٔ میل و زاویهٔ ساعتی نجومی آن معلوم است پیدا کرد. تلسکوپ را حول محور میل می‌چرخانیم تا میل داده شده به دست آید. آنگاه قید تلسکوپ را در این وضعیت محکم می‌کنیم. سپس تلسکوپ و محور میل را حول محور قطبی دوران می‌دهیم تا به زاویهٔ ساعتی نجومی مورد نظر برسیم.

قسمت دوم: تلسکوپ‌های بازتابی

۵-۱۸ مقدمه

نام نیوتون با اختراع این نوع تلسکوپ قرین است. در تلسکوپ بازتابی کار عدسی شیئی را یک آینه انجام می‌دهد. به جای عدسی، آینه‌ای کاو موجب همگرایی نور ورودی می‌شود. تصویری که توسط آینه تشکیل می‌شود با یک چشمی که اساساً همان چشمی تلسکوپ نوع شکستی است، مشاهده می‌شود. تقریباً آنچه دربارهٔ تلسکوپ شکستی گفته شد، در اینجا نیز قابل اطلاق است.

۵-۱۹ نقره‌اندود کردن آینه

برخلاف آینه‌های خانگی، بر روی آینهٔ تلسکوپ یعنی بر سطح کاو آن، یک لایه نقره قرار داده می‌شود و شیشه صرفاً تکیه‌گاه نقره به شمار می‌رود. قرار گرفتن نقره بر سطح پیشین شیشه، جذب نور را از میان می‌برد. نور از شیشه نمی‌گذرد و بر اثر جذب قسمتی از شدت خود را از دست نمی‌دهد. اشکال کار این است که لایهٔ نقرهٔ بی‌حفاظ پس از مدتی کدر می‌شود و باید هر از چندگاه آینه را مجدداً نقره‌اندود کرد.

در سال‌های اخیر، فرایند «آلومینیومی کردن» به‌تدریج جانشین نقره‌اندود کردن شده است. اخیراً پی برده‌اند که بخار آلومینیوم چون بر شیشه بنشیند سطح درخشانی را پدید می‌آورد که از بسیاری لحاظ بر سطح نقره‌ای برتری دارد. اندودن باید در خلاء انجام گیرد. آلومینیومی که به این طریق اندود شود، کدر نمی‌شود. در نخستین برخورد با هوا روی آن را لایهٔ نازک شفاف و بسیار سختی از اکسید آلومینیوم می‌پوشاند که آلومینیوم زیری را از هر برهم کنشی با

هوا مانع می‌شود.

خصیصهٔ برتر دیگر اندود آلومینیوم آن است که نور فرابنفش را منعکس می‌کند. نقره، منعکس کنندهٔ بسیار بدی برای این اشعهٔ کوتاه موج است. ولی نقره نور سرخ را بهتر منعکس می‌کند. نقره به طور کلی از نظر بازتاب تا حدی بهتر است. نقره در بهترین شرایط ۹۵ درصد کل نور و آلومینیوم فقط ۹۰ درصد آن را منعکس می‌کند.

۲۰-۵ طرح نورشناختی تلسکوپ

آینه در انتهای تحتانی لوله سوار می‌شود. نور بازتابیده، تصویر را در وسط اشعهٔ ورودی تشکیل می‌دهد. برای آن که بتوان این تصویر را مشاهده کرد باید آن را نقل مکان داد. معمولاً این کار به یکی از دو راه زیر که به وسیله نیوتون و هم‌عصر فرانسوی‌اش کاسگرن[1] ابداع شده‌اند، انجام می‌شود.

در روش نیوتون اشعهٔ همگرای نور پیش از رسیدن به صفحهٔ کانونی به وسیلهٔ آینه‌ای تخت قطع می‌شود. این آینه اشعه را از بدنهٔ لوله به چشمی هدایت می‌کند. در پاره‌ای موارد به جای آینه، منشور منعکس‌کننده به کار می‌رود. به شکل (آ) ۲۰-۵ نگاه کنید.

در روش کاسگرن آینه‌ای کوژ، کار منحرف کردن نور را انجام می‌دهد. شعاع‌های همگرا توسط آینه‌ای کوژ قطع می‌شود و از سوراخی که در آینهٔ شیئی ایجاد شده است به کانون آورده می‌شود. یکی از امتیازات این روش، قابلیت انعطاف در فاصلهٔ کانونی شیئی است. چون مجموعهٔ کاملی از آینه‌های کوژ به همراه شیئی به کار رود، فواصل کانونی متعددی در اختیار ما قرار می‌گیرد. به شکل (ب) ۲۰-۵ نگاه کنید.

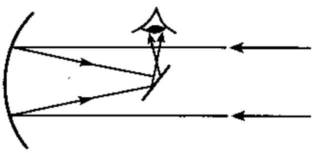
برخی از تلسکوپ‌های بازتابی هم به سیستم نیوتونی و هم به سیستم کاسگرن مجهز است.

آینه یا منشور کوچک، لاجرم مانع قسمتی از نور ورودی می‌شود. این کاهش نور، نسبتاً اندک است و کسر بسیار کوچکی از کل نوری را تشکیل می‌دهد که بر شیئی می‌تابد. این مانع را نمی‌توان در چشمی دید و همان طور که می‌توان حدس زد، مزاحم تصویر نمی‌شود.

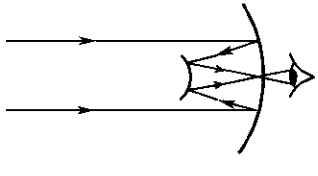
۲۱-۵ شکستی یا بازتابی؟

جز شیئی و روش تغییر مسیر نور بازتابیده، تفاوت عمدهٔ میان تلسکوپ

شکل (آ) ۲۰-۵ ترتیب شیئی (آینه) و چشمی در یک تلسکوپ بازتابی. آینه در انتهای تحتانی لوله قرار دارد (البته در یک تلسکوپ شکستی، شیئی در انتهای فوقانی آن سوار می‌شود). تصویری که توسط آینه ایجاد شده است در وسط شعاع‌های ورودی جای دارد. چشمی را نمی‌توان در آنجا گذاشت، زیرا ناظر عملاً مانع نور ورودی می‌شود.
در تلسکوپ نوع نیوتونی، که در زیر نشان داده شده، آینهٔ تخت کوچکی، این شعاع‌ها را از سوراخی در بدنهٔ لوله به چشمی هدایت می‌کند.



شکل (ب) ۲۰-۵ نوع کاسگرن. تصویری که توسط شیئی تشکیل شده است توسط آینهٔ کوژ کوچکی منحرف می‌شود. شعاع‌های همگرایی که از شیئی منعکس شده بار دیگر توسط این آینه منعکس می‌شود و درست در نزدیکی سوراخی که در شیئی ایجاد شده است، کانونی می‌شود.
یک تلسکوپ می‌تواند چندین آینه کوژ با انحناهای مختلف داشته باشد. فاصلهٔ کانونی کل تلسکوپ را می‌توان باتغییر دادن انحنای آینهٔ کوژ، تغییر داد.



1- Cassegrain

شکستی و تلسکوپ بازتابی وجود ندارد. توان جمع‌آوری نور، توان تفکیک و توان بزرگنمایی و فرمول‌های آنها در هر دو مورد یکسان است. استقرار پایه‌ها نیز برای هر دو به یک صورت است.

هر تلسکوپ مزایا و کاستی‌های خود را دارد. هرکدام از این دو برای پژوهش خاصی که مناسب آن است به کار می‌رود.

از نظر تاریخی، ابتدا تلسکوپ شکستی اختراع شد. در عمل نیز هنوز به دلایل زیر مورد استفاده بسیار است.

آ. داشتن وضوح در تصویری که از عدسی‌ها به دست می‌آید.

ب. داشتن دید وسیع‌تر.

پ. به هنگام کار کمتر در معرض صدمه دیدن است.

ت. آمادگی برای استفادهٔ فوری.

ولی تلسکوپ بازتابی که شیئی آن به جای عدسی، آینه است، روز به روز متداول‌تر می‌شود. این محبوبیت به علل زیر است.

آ. عاری بودن از کجنمایی رنگی.

ب. کوتاه‌تر بودن لولهٔ تلسکوپ. در تلسکوپ‌های شکستی برای اجتناب از بازماندهٔ مزاحم کجنمایی رنگی باید نسبت کانونی ۱۵ را به کار برد. تلسکوپ‌های بازتابی با نسبت کانونی ۵ نتایج قابل قبولی به دست می‌دهند، در حالی که طولشان فقط یک سوم تلسکوپ‌های شکستی است.

پ. نیازی نیست که شیشهٔ آینه، کامل و بی‌نقص باشد زیرا نور از سطح اندوده منعکس می‌شود.

ت. فقط یک سطح باید با دقت تمام شکل داده شود.

ث. هیچ نوری به خاطر عبور از شیشه جذب نمی‌شود.

ج. هزینهٔ آن کمتر است.

قسمت سوم: تلسکوپ‌های عدسی - آینه‌ای (کاتادیوپتریک)

۵-۲۲ تلسکوپ اشمیت

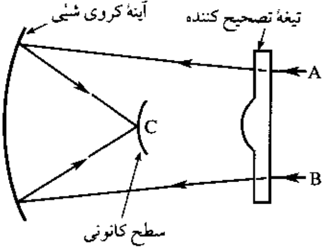
آینهٔ تلسکوپ بازتابی باید سهمی‌وار باشد تا کجنمایی کروی از بین برود. در سال ۱۹۳۱، برنارد اشمیت[1] سیستمی مرکب از عدسی و آینه اختراع کرد که در آن از آینهٔ کروی، که ساختن آن آسان است، استفاده می‌شود. انحراف

1- Bernhard Schmidt

شکل کروی از سهمی‌وار توسط عدسی نازکی که «تیغهٔ تصحیح کننده» نام دارد و در مرکز انحنای آینه جای می‌گیرد تصحیح می‌شود. به شکل ۲۲-۵ نگاه کنید.

تیغهٔ تصحیح کننده موجب واگرایی شعاع‌هایی می‌شود که نزدیک به لبهٔ تیغه اند(شعاع‌های A و B) به طوری که پس از بازتاب به همان نقطه‌ای می‌آیند که شعاع‌های نزدیک به محور بدان می‌رسند. شعاع‌های نزدیک به محور در شکل ۲۲-۵ نشان داده نشده است.

اندازهٔ تلسکوپ اشمیت را قطر تیغهٔ تصحیح کننده مشخص می‌کند که معمولاً $\frac{۲}{۳}$ گشودگی آینهٔ شیئی است. بنابراین قطر عدسی تصحیح کنندهٔ تلسکوپ اشمیت ۱۲۲ سانتیمتری رصدخانهٔ مونت‌پالومار، ۱۲۲ سانتیمتر و قطر آینهٔ شیئی آن ۱۸۳ سانتیمتر است. شعاع انحنای آینه ۱۰ر۶ متر است. فاصلهٔ کانونی، $\frac{۱}{۲}$ شعاع انحناء یعنی ۰۵ر۳متر = $\frac{۶٫۱۰}{۲}$ و نسبت کانونی بسیارکوچک و برابر ۷ر۱ = $\frac{۳٫۰۵}{۱٫۸۳}$ است.



شکل ۲۲-۵ شعاع‌های A و B به وسیلهٔ تیغهٔ تصحیح کننده، اندکی منحرف می‌شوند و به یک نقطهٔ C می‌رسند. اشعه دیگری که نزدیک محور هستند نیز به همین نقطه می‌آیند.

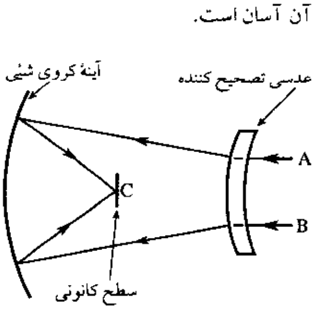
گوشزد: تلسکوپ‌هایی که نسبت کانونی آنها کمتر از ۸ است، اخترنگار نامیده می‌شود. این تلسکوپ‌ها بیشتر برای عکسبرداری از نواحی وسیعی از آسمان (مثلاً °۱۰×°۱۰) که شامل چندین هزار ستاره است، به کار می‌رود.

صفحه یا فیلم عکاسی باید خم شود تا بر انحنای صفحهٔ کانونی منطبق گردد و به این ترتیب تصویری بسیار خوب از تمامی میدان دید به دست می‌آید.

۲۳-۵ تلسکوپ ماکسوتف - باورز [1]

در این تلسکوپ نیز مانند تلسکوپ اشمیت از آینهٔ کروی استفاده می‌شود که ساختن آن آسان است.

واگرایی لازم برای آن که شعاع‌ها به درستی کانونی شوند، با استفاده از عدسی ضخیمی به نام عدسی هلالی که سطوح آن کروی است، حاصل می‌شود. ساختن سطوح کروی بسیار ساده‌تر از ساختن سطح پیچیدهٔ تیغهٔ تصحیح کنندهٔ تلسکوپ اشمیت است. در اینجا صفحهٔ کانونی تخت است. به شکل ۲۳-۵ نگاه کنید.



شکل ۲۳-۵ واگرایی شعاع‌ها به وسیلهٔ عدسی هلالی انجام می‌گیرد. سطوح این عدسی کروی است و از این رو ساختن آن آسان است.

1- Maksutov-Bouwers

قسمت چهارم: یک وسیلهٔ کمکی

۵-۲۴ لامپ تصویر

لامپ تصویر وسیله‌ای است الکترونیکی که به تلسکوپ وصل می‌شود و کارهای زیر را ممکن می‌سازد:

آ. عکس‌برداری از ستاره‌ها و اجرام سماوی بسیار کم فروغی که بدون این وسیله ممکن نخواهد بود؛ و یا

ب. کوتاه کردن زمان عکس‌برداری از هر جسم.

آنچه در این لامپ روی می‌دهد عبارت است از:

آ. نور یعنی فوتون‌هایی که از ستاره می‌آید بر فیلم عکاسی کانونی نمی‌شود، بلکه بر یک صفحهٔ حساس فوتوالکتریکی می‌تابد و از آن الکترونهایی را آزاد می‌کند (اثر فوتوالکتریک). تعداد الکترون‌هایی که آزاد می‌شود بسته به شدت نور است مثلاً هر فوتون پنج الکترون آزاد می‌کند.

گوشزد: در برخی مواقع از «شعاع‌های» نور صحبت می‌شود و در مواقع دیگر نور، موج یا به بیان دقیق‌تر موج الکترومغناطیسی شمرده می‌شود. پدیده‌هایی نیز در علم وجود دارد که توضیح آنها تنها با این فرض میسر است که نور از ذرات خردی به نام فوتون تشکیل شده است.

ب. الکترون‌های آزاد شده، در یک تکثیرگر نوری تکثیر می‌شوند. پنج الکترون، چندین هزار الکترون می‌شود (گام مهم همین است!).

پ. این الکترون‌ها که تعدادشان زیاد است بر صفحهٔ فلوئورسان تصویری پدید می‌آورند که بسیار پرنورتر از تصویر حاصل از نور اصلی است.

ت. البته از این تصویر پرنور می‌توان عکس گرفت.

قسمت پنجم: تلسکوپ‌های بزرگ وکاربردهای آنها

۵-۲۵ تلسکوپ‌های بزرگ

منجمان در جستجوی دایم خود برای دانش، تلسکوپ‌هایی هرچه بزرگ‌تر

طرح می‌کنند. این تلسکوپ‌ها آنان را به رؤیت ستاره‌هایی قادر می‌سازد که به علت نور کم‌شان با دستگاه‌های کوچک‌تر دیده نمی‌شوند. تلسکوپ‌های بزرگ‌تر جزئیات بیشتری از کهکشان‌های دوردست را آشکار می‌سازند که مطالعهٔ آنها به فهم کهکشان ما کمک می‌کند.

به این ترتیب منجم امیدوار است که مسائل بنیادی علم خود را پاسخ گوید. این دانش شواهد با اهمیتی از تاریخ گذشته و از آیندهٔ محتمل جهان را در اختیار ما می‌گذارد.

تلسکوپ معروف مونت پالومار، در ایالات متحده که به سال ۱۹۴۸ تکمیل شد، بر کوه پالومار در ایالت کالیفرنیا واقع است. شیئی آن آینه‌ای است به قطر ۵ متر.

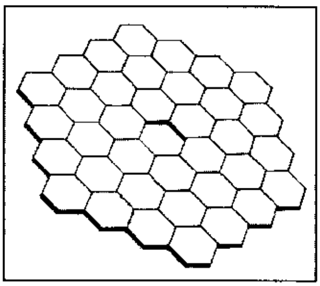
* این تلسکوپ به مدت ربع قرن بزرگ‌ترین تلسکوپ نوری دنیا بود. این تلسکوپ را به نام اخترشناس بلندآوازهٔ امریکایی، جورج الری هیل، تلسکوپ هیل نامیده‌اند.

ساختمان تلسکوپ بزرگ‌تری در اوایل دههٔ ۷۰ در اتحاد شوروی سابق کامل شد. این تلسکوپ در شمال غربی تفلیس قرار دارد. قطر آینهٔ آن شش متر است و در لوله‌ای ۲۵ متری کار گذاشته شده است. استقرار آن سمت - ارتفاعی است و رایانهٔ رقمی پیچیده‌ای، دنبال کردن اجرام سماوی را کنترل می‌کند. این تلسکوپ متأسفانه به دلایل نقیصه‌های اپتیکی چندان کارآمد از آب درنیامده است.

ساخت تلسکوپ‌هایی با آینه‌های بزرگ، تا دههٔ ۱۹۸۰ بسیار گران بود. امروزه روش‌های ساخت و طراحی‌های جدید امکان ساختن تلسکوپ‌های بسیار بزرگ را میسر ساخته است. حال دیگر ساختن آینه‌ای به قطر ۵ یا ۶ متر کار دشواری نیست. متخصصان می‌توانند آینه‌های بزرگی بسازند که بسیار سبک‌تر از آینه‌های نسل قبل است. به علاوه به یاری تکنیک‌های پیشرفته اپتیکی و الکترونیکی، می‌توان با ترکیب تعداد زیادی آینهٔ کوچک‌تر، آینه‌ای ساخت که معادل یک تک آینهٔ بسیار بزرگ‌تر است.

بزرگ‌ترین تلسکوپ از این نوع، بر فراز ماوناکی در هاوایی جای گرفته است. دو تلسکوپ ده متری، که تلسکوپ‌های کِک I و کِک II نام دارند در ارتفاع ۴۱۰۰ متری این کوه استقرار یافته‌اند. هرکدام از ۳۶ قطعهٔ آینهٔ ۱٫۸ متری تشکیل شده است. کِک I کار خود را از اوایل دههٔ ۱۹۹۰ آغاز کرد. کِک I و کک II، با هم در پژوهش‌های تداخل‌سنجی نجومی به کار می‌روند. (شکل ۲۵-۵).

شکل ۲۵-۵ آینه شیئی تلسکوپ‌های کِک از ۳۶ قطعه آینه مقعر ۱٫۸ متری تشکیل شده است.



چهار تلسکوپ عظیم ۸ متری نیز برای استقرار در کوهستان‌های شیلی، در دست ساختمان اند. توان جمع آوری نور آنها، مجموعاً برابر با یک تلسکوپ ۱۶ متری است و توان تفکیک آنها بسی بیشتر از تلسکوپ‌های کِک است.

نظر به اهمیت تاریخی تلسکوپ ۵ متری هیل، در زیر به شرح ساخت و مشخصات آن می‌پردازیم.*

۲۶-۵ تلسکوپ ۵ متری

(آ) تاریخچهٔ ساخت

اصول فیزیکی یک تلسکوپ ۵ متری همان اصول فیزیکی تلسکوپ‌های کوچک است. اما مسایل مهندسی ساخت آینه‌ای به وزن تقریبی ۱۵ تن و طرح دستگاهی که در مجموع نزدیک به ۵۰۰ تن وزن دارد، بسیار عظیم است.

مسایل اساسی طرح و ساخت آن عبارت است از:

آ. انتخاب جنس آینه،

ب. فرایند قالب‌ریزی و سرد کردن تدریجی آن،

پ. تراشیدن، صیقل زدن و اندودن آلومینیوم،

ت. طرح و ساخت پایه،

ث. انتخاب مکان مناسب،

آ. ماده‌ای که برای آینه به کار می‌رود باید سخت، سنگی و همگن باشد؛ باید به آسانی صیقل‌پذیر باشد و بتواند تا مدتی دراز این صیقل را حفظ کند و با تغییرات معمولی دما فقط اندکی منبسط شود. همهٔ این عوامل بسیار با اهمیت اند زیرا که سطح آینه باید دقتی در حدود یک میلیونم سانتیمتر داشته باشد.

پس از آزمون مصالح بسیار، انتخاب به دو مورد محدودشد: کوارتز گداخته و نوع خاصی از شیشهٔ پیرکس. ضریب انبساط گرمایی کوارتز گداخته بسیار کم، پنج مرتبه کمتر از پیرکس است. ولی تلاش برای قالب‌ریزی یک قرص کوارتزی دو سال طول کشید و از آن صرف نظر شد. انتخاب نهایی نوعی شیشهٔ پیرکس بود که برای این منظور ساخته شده بود.

ب. قالب‌ریزی نخستین قرص ۵ متری در ۲۵ مارس ۱۹۳۴ صورت گرفت که به کمک ملاقه‌هایی بزرگ بیست تن شیشهٔ گداخته در قالب‌های آماده ریخته شد و این کار خود یک روز تمام طول کشید. جریان سریع گاز

ملتهب شیشه را، هم در کوره و هم در قالب، در دمای F °۲،۰۰۰ نگه می‌داشت.

به رغم همهٔ احتیاط و توجهی که در طرح به کار رفته بود، حادثهٔ کوچکی نخستین قالب‌ریزی قرص را ضایع کرد.

قرص دوم در دوم دسامبر بدون اشکال ریخته شد و کار پس از ده ساعت با موفقیت پایان یافت. سپس در اجاق سرمایش قرار داده شد تا به تأنی بسیار سرد شود. این طریقهٔ خنک کردن برای جلوگیری از تنش‌ها و تغییر شکل‌هایی که ممکن است از سرد کردن سریع حاصل شود، بسیار مهم است.

دمای اجاق به طور الکتریکی کنترل و با دقت تمام به میزان معینی در هر بیست و چهار ساعت یک بار کاهش داده می‌شد. پس از ده ماه قرص تا حد دمای معمولی سرد شد و آشکار شد که از نظر ساخت به همان کمالی است که مورد نظر بود.

پ. تراش و صیقل دادن با ماشینی انجام شد که مخصوص این کار ساخته شده بود و در آن سنباده‌ای سطح قرص را می‌سایید.

برای تراش اولیه، که به قرص شکل کروی کاوی می‌داد، از سایای کاربید زبری به نام ناتالون، مخلوط با آب، استفاده شد. بعداً به ترتیب سایای ظریف‌تری به کار برده شد تا سطح سهمی‌وار کامل حاصل آمد.

برای آن که اثر گرمای حاصل از اصطکاک به هنگام تراش به حداقل رسانده شود، جریان تراش به کندی انجام شد - چهار سال تراشیدن و صیقل زدن مدام لازم بود تا آینه سرانجام برای اندودن آلومینیوم آماده بشود.

ت. طرح و ساختن پایهٔ استقرار آن حاکی از پیشرفت‌های بزرگی بود که در آن سال‌ها در مهندسی حاصل شده بود.

آینهٔ صیقل زده را که نزدیک به ۱۵ تن وزن دارد، می‌توان بدون کمترین افتادگی یا خمیدن به هر امتدادی قراول رفت.

«لوله» تلسکوپ، که آینه را چنین به کمال جابجا می‌کند، متجاوز از یکصد تن وزن دارد و از لحاظ طراحی سازه کار شایان توجهی به شمار می‌رود. این «لوله» در حقیقت بخش مرکزی مربع شکل میان تهی و صلبی دارد، با حلقه‌هایی صلب در هر انتها و چنان متوازن است که به آسانی می‌توان آن را با دست به هر سمتی حرکت داد، هرچند که معمولاً توسط موتور الکتریکی کوچکی حرکت داده می‌شود.

ث. پژوهشی دقیق به انتخاب مکان مناسب انجامید.

منطقه‌ای که در حد فاصل °۳۰ و °۳۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی

قرار دارد، مکان مطلوب است. از این عرض‌های جغرافیایی می‌توان نـواحـی مهمی از نیم کرهٔ جنوبی آسمان را رصد کرد و در عین حال ستارگان دور قطبی شمالی به ارتفاع قابل ملاحظه‌ای بـالای افـق خـواهـند بـود. ایـن مـلاحظات جستجوی مکـان را بـه قسمت‌هایی از کـالیفرنیا، نـیومکزیکو و آریـزونا و ایالت‌های دیگری که در این منطقه قرار دارند محدود کرد.

عوامل دیگری نیز در این انتخاب مؤثر بودند: (آ) ارتفاعی بین ۱۸۰۰ تا ۲۴۰۰ متر از سطح دریا، (ب) تعداد زیاد شب‌های بی‌ابر در سال، (پ) فقدان مطلق زلزله حتی لرزه‌های خفیف زمین، (ت) دسترسی آسان بـه یک شـهر بزرگ.

ارزیابی نقاط مختلف به انتخاب مونت پالومار در ۱۳۰ کیلومتری شمال شرقی سان‌دیه‌گو در کالیفرنیا انجامید.

در آنجا، تلسکوپی که «بـزرگ‌ترین چشـم» نـامیده شـده است، بـه کـار پرعظمت کاویدن اسرار جهان مشغول بوده است.

(ب) عظمت تلسکوپ پنج متری

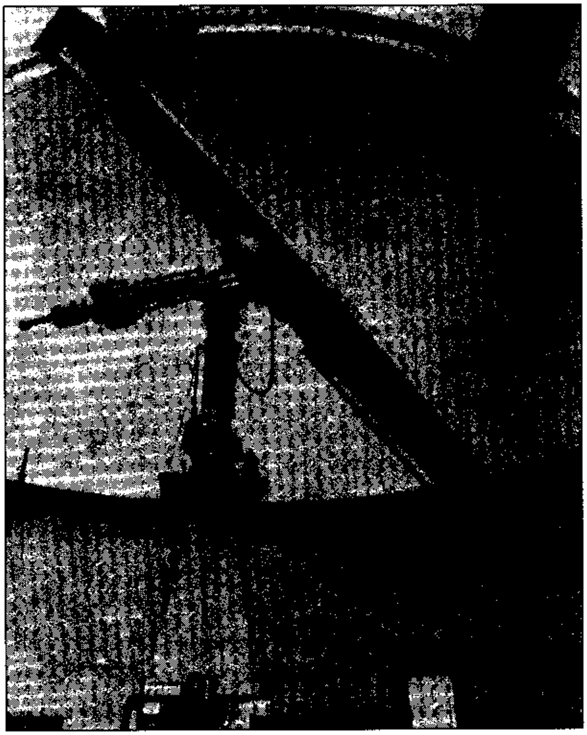
توان‌های این تلسکوپ عظیم اند؛ به اندازهٔ یک میلیون چشم آدمی نور جمع می‌کند. با آن می‌توان نور یک شمع را از فاصلهٔ ۱۶،۰۰۰ کیلومتری دید. دو برابر تلسکوپ ۲/۵ متری کوه ویلسون - یعنی تا فاصلهٔ ۲،۰۰۰ میلیون سال نوری در فضا نفوذ می‌کند.

(پ) برنامهٔ تحقیق و دستاوردها

هدف اصلی این تلسکوپ، مطالعهٔ سه حوزه از مسایل عمده نجوم بوده است: تکامل ستاره‌ها، ساختار جهان و سرشت مادهٔ آن.

در نخستین سال‌های بهره‌برداری از این تلسکوپ، نتیجهٔ مهمی عاید آمد. تلسکوپ جدید نشان داد که خط‌کش قبلی فواصل نجومی نادرست بوده است، فاصلهٔ کهکشان بزرگ امراةالمسلسله که تا آن زمان ۷۵۰،۰۰۰ سـال نـوری برآورد می‌شد، در سال ۱۹۵۲ به مقدار ۱،۵۰۰،۰۰۰ سال نوری و بعداً به ۲ میلیون سال نوری افزایش یافت.

در سال‌های ۱۹۶۰ از تلسکوپ ۵ متری برای مطالعهٔ انتقال به سرخ بسیار بزرگ طیف نوری اخترنماها (کوازارها)، اجسام ستاره مانندی که بـه عـنوان چشمه‌های گسیل امواج رادیویی شناسایی شدند، استفاده شد. (اخترنماها تـا اندازه‌ای در بخش ۱۶-۱۰ مورد بحث قرار خواهند گرفت).



تلسکوپ شکستی ۶۶ سانتیمتری رصدخانهٔ مک‌کورمیک دانشگاه ویرجینیا

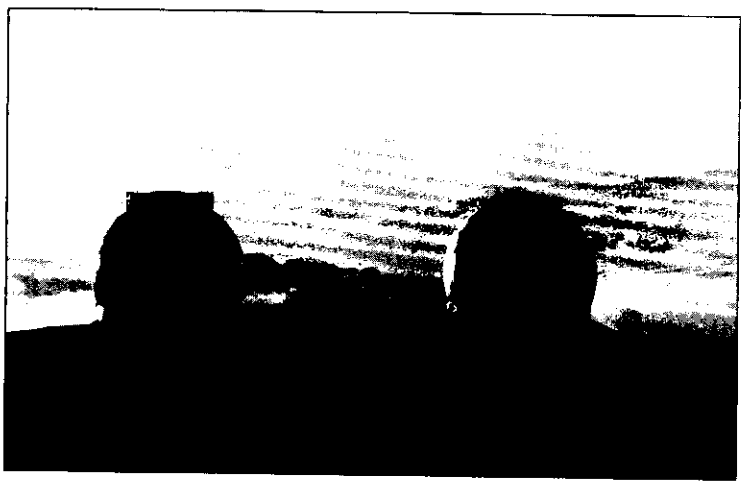
تلسکوپ بازتابی ۵ متری رصدخانهٔ کوه پالومار در کالیفرنیا

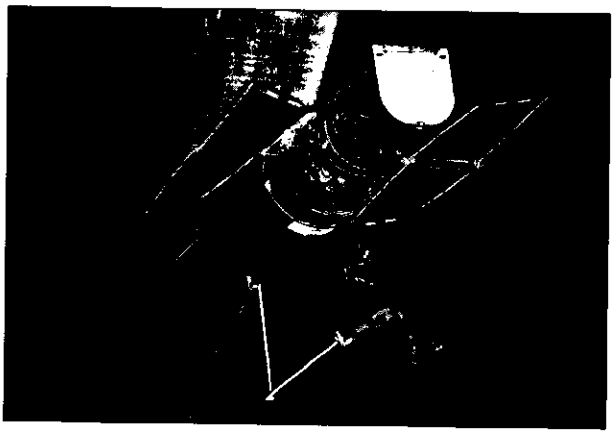




چهار تلسکوپ عظیم ۸متری رصدخانه پارانال، واقع در کوه‌های شمال شیلی

تلسکوپ‌های کک I و کک II بر فراز کوه ماوناکی در جزیره هاوایی





تلسکوپ فضایی هابل که از سال ۱۹۹۰ در مداری به ارتفاع ۵۸۹ کیلومتر هر ۹۵ دقیقه یک دور به گرد زمین می‌چرخد.

* ۲۷-۵ تلسکوپ فضایی هابل

جو زمین اثرات محدود کننده‌ای بر دید تلسکوپ‌های مستقر بر سطح زمین دارد (نگاه کنید به بخش ۱۳-۱۳ صفحه ۲٦۸). تلاطم‌های خرد جوی، وجود غبار و رطوبت و آلودگی‌های نوری، کیفیت دید با تلسکوپ‌های بزرگ را کاهش می‌دهد. به علاوه جو زمین برخی از طول موج‌های نور را کاملاً جذب می‌کند. از این رو تلسکوپ‌های بزرگ را در ارتفاعات بلند و در نقاطی که جو نسبتاً پایدار است مستقر می‌کنند. جو زمین سبب می‌شود که توان تفکیک بهترین تلسکوپ‌های زمینی از یک ثانیهٔ قوس کمتر نباشد. (در سال‌های اخیر با بهره گیری از تکنیک‌های اپتیک تطابقی ، توان تفکیک برخی از تلسکوپ‌های بزرگ به کمتر از ۵ر۰ ثانیهٔ قوس رسیده است). برای رهایی از اثرات محدود کنندهٔ جو باید تلسکوپ را در مداری بیرون جو زمین یا بر سطح ماه قرار داد و از سطح زمین آن را کنترل کرد. تلسکوپ فضایی هابل، بزرگ‌ترین تلسکوپی است که تاکنون بیرون جو زمین مستقر شده است. حد تفکیک آن فقط ۰۵ر۰ ثانیهٔ قوس است؛ یعنی عالم را با ظرافت و حساسیتی بیست برابر تلسکوپ‌های زمین می‌نگرد و هیچ دریچه‌ای از نور مرئی بر چشم تیزبین آن بسته نیست.

آینهٔ شیئی تلسکوپ فضایی هابل، ۴ر۲ متر است و در گسترهٔ تابش‌های مرئی، فرابنفش و فروسرخ کارآمد است. تلسکوپ و تشکیلات آن با وزنی در حدود ۱۲ تن، در سال ۱۹۹۰ به وسیلهٔ یک شاتل فضایی در ارتفاع ٦۰۰ کیلومتر از سطح زمین، بر مدار قرار داده شد و هر ۹۵ دقیقه یک بار بر گرد زمین می‌گردد. تلسکوپ فضایی هابل یکی از گران‌ترین و کارآمدترین ابزارهای نجومی است که تاکنون ساخته شده است. *

قسمت ششم: عکس‌برداری نجومی

۲۸-۵ عکس‌برداری

بخش بزرگی از کار «رصد کردن» با عکس‌برداری انجام می‌گیرد. منجم، چشمی را از روی تلسکوپ برمی‌دارد و به جای آن یک صفحهٔ عکاسی می‌گذارد و از شیء مورد نظر عکس می‌گیرد. بدین ترتیب از آینهٔ شیئی تلسکوپ برای تشکیل تصویر بر صفحهٔ عکاسی استفاده می‌شود.

عکس‌برداری مزایای بسیار نسبت به دیدن مستقیم دارد. این مزایا عبارتند

از:

آ. صفحات عکاسی می‌توانند ستارگانی را ردیابی کنند که روشنی آنها کمتر از یک ششم کم‌نورترین ستاره‌ای است که با همان تلسکوپ قابل رؤیت است. دلیل اصلی این است که تغییر در مواد شیمیایی صفحه عکاسی اثری است جمعی یعنی جمع کل نوری که در مدت نور دادن به صفحه عکاسی می‌رسد، اثر می‌کند. چشم، نوری را که در یک لحظه دریافت می‌کند می‌بیند؛ انرژی نورانی بر شبکیه جمع نمی‌شود.

ب. نور دادن دراز مدت، در نتیجهٔ اثر جمعی نور بر مواد شیمیایی صفحهٔ عکاسی، جزئیاتی را آشکار می‌سازد که با رصد بصری دیده نمی‌شود. بخش اعظم دانش ما نسبت به کهکشان‌های دوردست از جزئیاتی حاصل شده که با عکس‌برداری به دست آمده‌اند.

پ. دائمی بودن مدرک حاصل در مطالعهٔ تغییرات روشنی و جابجایی نسبی ستاره‌ها دارای اهمیت خاص است. ممکن است ستاره‌ای بی‌اهمیت به ناگهان برجسته شود؛ برای تاریخ گذشته آن می‌توان مدارک موجود را بررسی کرد.

ت. مطالعه در سر فرصت. برخی از ستارگان به مدتی کوتاه بالای افق اند منجم می‌تواند عکس بگیرد و سپس در سر فرصت آن را مطالعه کند.

ث. بزرگ کردن. عکس را می‌توان به کمک یک میکروسکوپ بزرگ کرد. این عمل مخصوصاً برای کار مکانیکی شمردن ستاره‌ها، خاصه در خوشه‌های کروی ستاره‌ای مفید است.

ج. در مطالعهٔ منظومهٔ شمسی استفادهٔ زیادی از عکس‌برداری می‌شود. از این راه بود که برای نخستین بار پلوتون، جدیدترین عضو این منظومهٔ سیاره‌ای، کشف شد. ستاره‌ها چون نقاطی منفرد می‌نمایند، ولی اجرام متحرک نظیر سیارک‌ها در عکس، حتی در نور دادن‌های چند ساعته به صورت خطوطی کوتاه پدیدار می‌شوند.

* ۵-۲۹ دوربین CCD

این روزها، ضبط داده‌های نجومی با تلسکوپ‌های بزرگ و متوسط (و حتی کوچک) به ندرت با وسایل عکاسی انجام می‌شود. آشکارسازهای الکترونیکی موسوم به وسایل جفت شده به بار[1] یا CCD جانشین دوربین‌ها و وسایل عکاسی شده‌اند. دوربین‌های دیجیتال و ویدیوی خانگی نیز مجهز به

1- charge-coupled devices

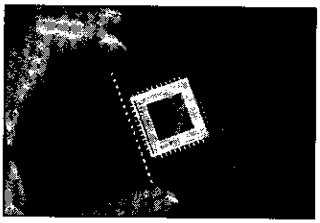
تراشه‌های CCD اند.

یک CCD تشکیل شده است از یک ویفر سیلیسیوم که در آرایه‌ای دوبعدی، به تعداد زیادی جزء تصویر[1] یا پیکسل تقسیم شده است. وقتی نور به یک جزء برخورد می‌کند، بار الکتریکی در پیکسل انبار می‌شود. مقدار بار ذخیره‌شده با تعداد فوتونهای نوری که بر پیکسل فرود آمده رابطهٔ مستقیم دارد، یعنی متناسب با شدت نور در آن نقطه است. با کنترل الکترونیکی بار جمع شده می‌توان تصویری دوبعدی ساخت و بر صفحهٔ رایانه آورد.

مساحت این وسیله فقط چند سانتیمترمربع است که متضمن میلیون‌ها پیکسل است. پیکسل‌ها معمولاً در شبکه‌ای مربعی تنظیم شده‌اند.

CCDها مزیت‌های چندی نسبت به فیلم یا صفحهٔ عکاسی دارند و بازده آنها خیلی بیشتر است. CCD تقریباً ۷۵ درصد فوتون‌هایی را که بر آن می‌تابد، ضبط می‌کند، درحالی که این رقم برای صفحه عکاسی کمتر از ۵ درصد است. پس با یک تلسکوپ معین، زمان نوردهی به CCD ده تا بیست مرتبه کمتر از صفحهٔ عکاسی است. در تصویرگیری نجومی، CCD جزئیاتی را آشکار می‌سازد که عکاسی نشان نمی‌دهد. به علاوه «تصویر» ضبط شده توسط CCD را می‌توان مستقیماً از طریق شبکه رایانه برای بررسی و تحلیل به اطاق کار پژوهشگر ارسال کرد. *

شکل ۲۹-۵ یک CCD از هزارها یا میلیون‌ها جزء حساس‌به‌نور، موسوم به پیکسل، تشکیل شده‌است. باری که در اثر برخورد نور به هر پیکسل ذخیره می‌شود، به‌طور الکترونیکی سنجیده شده تصویر مورد نظر با رایانه، بازسازی می‌شود.



قسمت هفتم: تلسکوپ رادیویی

۳۰-۵ مقدمه

ستاره‌ها تنها اشعهٔ مرئی (نور) گسیل نمی‌کنند، بلکه تابش‌هایی با طول موج کوتاه‌تر (پرتو X) و بلندتر (گرما، امواج رادیویی) نیز از آنها ساطع می‌شود. در حقیقت، ستاره‌ها نیز چون همهٔ اجسام داغ، در همهٔ قسمت‌های طیف الکترومغناطیسی تابش می‌کنند.

اما جو زمین فقط نسبت به نور و امواج رادیویی شفاف است. تمام اشعهٔ دیگری که توسط ستارگان گسیل می‌شود به ما نمی‌رسد زیرا که بخش اعظم آن به وسیلهٔ جو جذب می‌گردد.

طول موج‌های نوری که می‌توانند از جو بگذرند (دریچهٔ نوری) تقریباً بین 4×10^{-7} متر (بنفش) تا 7×10^{-7} متر (سرخ) قرار دارند.

2- Picture Element, Pixel

امواج رادیویی که جو اجازهٔ عبور به آنها می‌دهد (دریچهٔ رادیویی) در گسترهٔ طول موج‌های بین 10^{-2} متر تا ۳۰ متر است.

تلسکوپ‌های نوری مطالعهٔ جهان را با استفاده از اشعه‌ای که از دریچهٔ نوری می‌گذرند میسر می‌سازند. تلسکوپ‌های رادیویی اطلاعات دیگری از جهان حول و حوش را به کمک اشعه‌ای که از دریچهٔ رادیویی جو می‌گذرد، فراهم می‌آورند.

۵-۳۱ مشابهت‌های تلسکوپ رادیویی با تلسکوپ بازتابی

مشابهت‌های میان تلسکوپ رادیویی با تلسکوپ بازتابی عبارت اند از:

آ. هر دو آینه‌ای دارند که معمولاً به شکل سهمی‌وار است.

ب. در هر دو از استقرار استوایی یا معدل‌النهاری استفاده می‌شود.

پ. هر دو برای جمع‌آوری انرژی اجرام سماوی مورد مطالعه به کار می‌روند.

ت. هر دو چنان طراحی می‌شوند که توان تفکیک‌شان تا حد امکان کوچک باشد.

۵-۳۲ تفاوت‌ها

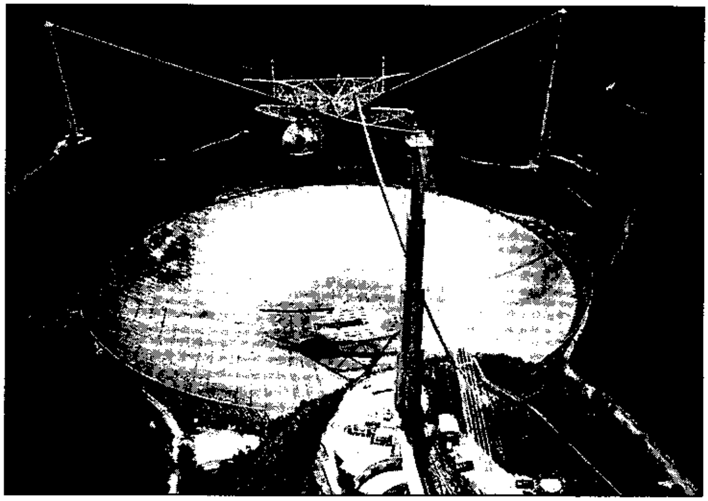
تفاوت‌ها عبارت اند از:

آ. آینهٔ نوری یک تلسکوپ بازتابی از شیشه‌ای ساخته شده که لایهٔ نازکی از آلومینیوم بر آن اندود شده است، در حالی که آینهٔ رادیویی از شبکه‌ای سیمی یا از ورقه‌های فلزی به دقت بریده شده، ساخته شده است.

ب. بعضی از تلسکوپ‌های رادیویی (از جمله تلسکوپ رادیویی به قطر ۳۰۵ متر در آره‌سی‌بو[1]، پورتوریکو[2]) پایه ندارند و تنها در مواقعی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که شیء مورد مطالعه در موضعی مناسب برای رصد باشد. شکل (آ) ۳۲-۵. تلسکوپ‌های رادیویی دیگر (مثلاً تلسکوپ ۹۱ متری گرین‌بنک[3]، ویرجینیای غربی) را تنها می‌توان از حیث ارتفاع از افق تغییر جهت داد و فقط موقعی قابل استفاده است که شئ در نصف‌النهار مکان یا نزدیک به آن باشد.

پ. زمین در کل توانی در حدود یکصد وات از چشمه‌های رادیویی قوی دریافت می‌کند. از این مقدار فقط 10^{-14} وات را تلسکوپ‌های رادیویی

1- Arecibo
2- Puerto Rico
3- Green Bank



شکل(آ) ۳۲-۵ بشقاب عظیم تلسکوپ رادیویی آره‌سی‌بو در پورتوریکو. این تلسکوپ رادیویی از سال ۱۹۶۳ مشغول به کار است. در ۱۹۷۴ برای تابش‌های کوتاه موج، تا ۱۰ سانتیمتر، بازسازی شد. این تلسکوپ ثابت است و فقط اجرامی را رصد می‌کند در گستره ۲۰° از بالای آن گذر کنند.

غول‌پیکر دریافت می‌کنند. توانی که یک تلسکوپ رادیویی جمع می‌کند، باید یک تریلیون مرتبه یا بیشتر تقویت شود تا دستگاه ثبات بتواند آن را ثبت کند.

ت. کمترین زاویه‌ای که تلسکوپ‌های رادیویی می‌توانند از هم تفکیک کنند (توان تفکیک) بسیار بزرگ‌تر از این زاویه در تلسکوپ‌های نوری است (یعنی نمی‌توان به جزئیاتی در حد تلسکوپ‌های نوری، دست یافت).

فرمول توان تفکیک عبارت است از:

$$\text{توان تفکیک (برحسب ثانیهٔ قوس)} = ۲٫۵۲ \times ۱۰^{۵} \; \frac{\text{طول موج (برحسب متر)}}{\text{قطر آینه (برحسب متر)}}$$

توان تفکیک یک تلسکوپ رادیویی ۱۸۰ متری برای موج ۲۰ سانتیمتری عبارت است از:

$$\text{توان تفکیک} = \frac{۲٫۵۲ \times ۱۰^{۵} \times ۲۰ \times ۱۰^{-۲}}{۱۸۰} = ۲۸۰ \;\text{(ثانیه قوس)}$$

یعنی برابر با ۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه.

به این ترتیب دو چشمهٔ رادیویی را که امواج رادیویی ۲۰ سانتیمتری گسیل می‌کنند تنها در صورتی می‌توان به دو گسیلندهٔ مجزا تفکیک کرد که فاصلهٔ زاویه‌ای بین آنها ۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه باشد.

راه‌های چندی برای بهتر کردن توان تفکیک، یعنی برای کوچک‌تر کردن آن، وجود دارد. دو تا از این راه‌ها عبارت اند از:

۱- استفاده از تداخل سنج رادیویی. تداخل‌سنج تشکیل شده است از دو یا چند تلسکوپ رادیویی که به فاصلهٔ چند یا چندین کیلومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. در چنین وضعی اندازهٔ کل دستگاه به مثابهٔ قطر آینه در فرمول بالا

به کار می‌رود و به این ترتیب توان تفکیک به میزان زیادی افزایش پیدا می‌کند. این تداخل‌سنج‌ها تعیین مکان دقیق بسیاری از چشمه‌های رادیویی را میسر ساختند.(شکل (ب)۳۲-۵).

۲- ردیف‌هایی متشکل از چندین آنتن دو قطبی ثابت نظیر تلسکوپ رادیویی میلزکراس[1] دانشگاه سیدنی استرالیا. با چنین تلسکوپی می‌توان با هزینهٔ نسبتاً کم به توان تفکیک خوب دست یافت.

تفاوت‌های دیگر میان تلسکوپ‌های نوری و رادیویی عبارت است از:

ث. نور ستارگان را فقط در هنگام شب می‌توان مطالعه کرد، ولی امواج رادیویی را در بیست و چهار ساعت شبانه‌روز می‌توان مورد بررسی قرار داد. این امواج تقریباً بی‌آن که با مانعی روبرو شوند از ابرهای جو زمین و نیز از خلال گاز و غبار میان ستاره‌ای که نواحی وسیعی از کیهان را فرا گرفته است، می‌گذرند.

ج. در حالی که محصول نهایی تلسکوپ نوری عکس یا رصد بصری است، اطلاعاتی که از تلسکوپ رادیویی به دست می‌آید به صورت جریان‌های متموج الکتریکی است که با دستگاه سنجش خوانده می‌شود. امواج رادیویی که از کاسهٔ سهمی‌وار منعکس می‌شود به گیرنده‌ای که در کانون سهمی‌وار قرار دارد می‌رسد. علامت دریافت شده پس از تقویت به دستگاه سنجش منتقل می‌شود.

چ. در حالی که رصدخانهٔ نوری را معمولاً در قلهٔ کوه‌ها می‌سازند تا لایهٔ بزرگی از جو را پشت سر گذارد، نکته اصلی در تعیین محل استقرار رصدخانهٔ رادیویی دور بودن آن است از علائم رادیو و تلویزیون و نویزی که منشأ آن سیستم احتراق اتومبیل‌ها و هواپیماها است.



* شکل (ب) ۳۲-۵ آرایهٔ بسیار بزرگ یا VLA تداخل سنج بزرگی است که از ۲۷ بشقاب رادیویی تشکیل شده است و در منطقه‌ای ۳۰ کیلومتری به صورت حرف Y در نیومکزیکو، گسترده است. VLA حساس‌ترین دستگاه رادیویی دنیا است.

[1] -Mils Cross

فصل ٦

طیف‌نمایی

۱-۶ مقدمه

منجمان می‌توانند تعیین کنند که:

آ. دما در سطح هر ستاره چقدر است.

ب. چه موادی در سطح هر ستاره یافت می‌شود و به چه مقادیری.

ت. آیا ستاره دارای میدان مغناطیسی هست و اگر هست شدت آن چیست؟

پ. آیا ستاره به ما نزدیک می‌شود یا از ما دور می‌شود و با چه سرعتی؟

همهٔ این اطلاعات و بسیاری داده‌های دیگر دربارهٔ ستارگان از تحلیل دقیق تابشی به دست می‌آید که از ستاره به ما می‌رسد. شاخه‌ای از علم که به چنین تحلیلی می‌پردازد طیف‌نمایی نامیده می‌شود و ابزار اصلی آن طیف‌نما است.

۲-۶ طیف‌نما

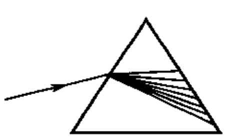
کار طیف‌نما تجزیهٔ شعاع نور به رنگ‌های تشکیل دهندهٔ آن است - کاری شبیه به آنچه قطرات آب در ابر انجام می‌دهند و رنگین کمان را به وجود می‌آورند.

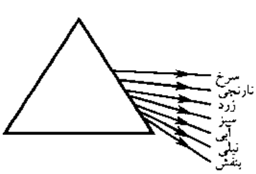
تجزیهٔ نور سفید به چندین رنگ یا به وسیلهٔ منشور شیشه‌ای و یا به وسیلهٔ توری پراش انجام می‌گیرد.

۳-۶ طیف‌نمای منشوری

یک شعاع نور معمولی، مثلاً نور آفتاب، با ورود به شیشهٔ منشور به ردیف پیوسته‌ای از رنگ‌ها تجزیه می‌شود و با خروج از منشور به هوا دستخوش تجزیه بیشتری می‌گردد. این ردیف رنگ‌ها طیف نامیده می‌شود. طیف نور خورشید هر هفت رنگ عمدهٔ بنفش، نیلی، آبی، سبز، زرد، نارنجی و سرخ را شامل می‌شود. همهٔ رنگ‌های حد وسط نیز در آن وجود دارد. به شکل

شکل (آ) ۳-۶ منشور. نور خورشید با ورود به منشور به گسترهٔ کاملی از رنگ‌ها تجزیه می‌شود که طیف نام دارد. این رنگ‌ها در خروج از منشور از یکدیگر باز هم بیشتر جدا می‌شوند. بر پرده‌ای که عمود بر این اشعه نگه داشته شود نقش رنگارنگی دیده می‌شود که بسیار شبیه رنگین کمان است.





(آ) ۳-۶ نگاه کنید.

دو اصل اساسی فیزیکی بر تجزیهٔ نور به رنگ‌های مختلف ناظر است:

آ. نور صورتی از انرژی است که آن را می‌توان متشکل از امواج دانست. تجربه می‌گوید که فرق نور سرخ با نور آبی تنها در طول موج آن است. نور سرخ بلندترین طول موج را در طیف مرئی دارد و بنفش کوتاه‌ترین را.

ب. طول‌موج، چنان که از نامش برمی‌آید، فاصلهٔ میان دو برآمدگی متوالی موج است. به شکل (ب) ۳-۶ نگاه کنید. طول‌موج را معمولاً بر حسب واحدی بیان می‌کنند که فوق‌العاده کوچک است و آنگستروم نامیده می‌شود. یک آنگستروم برابر $\frac{۱}{۱۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰}$ متر است. طول‌موج نور سرخ، برحسب این واحد، تقریباً ۷٬۰۰۰ آنگستروم و طول‌موج نور بنفش در حدود ۴٬۰۰۰ آنگستروم است.

پ. شکستی که نور در ورود به شیشه دچار آن می‌شود به طول‌موج آن بستگی دارد: موجِ کوتاهِ بنفش بیش از موجِ بلندِ سرخ شکسته می‌شود. به این ترتیب رنگ‌های گوناگونی که بدواً در نور سفید جای داشتند به اندازه‌های متفاوت می‌شکنند و نور تجزیه می‌شود.

اجزاء اصلی یک طیف‌نمای منشوری، علاوه بر منشور عبارت است از یک شکاف باریک، یک کُلیماتور و یک تلسکوپ.

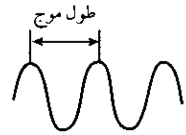
شکاف باریک، دریچه‌ای است که نور از آن وارد طیف‌نما می‌شود. شکاف را نسبتاً باریک می‌سازند تا از روی‌هم‌افتادن رنگ‌ها در طیف جلوگیری شود.

شکاف باریک در کانون یک عدسی غیررنگی (آکروماتیک) به نام کُلیماتور قرار داده می‌شود که کار آن تغییر امتداد شعاع‌های نور و آوردن آنها به مسیرهای متوازی است. به شکل (پ) ۳-۶ نگاه کنید.

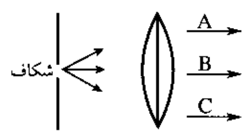
هر شعاع موازی با عبور از منشور به رنگ‌های گوناگون تجزیه می‌شود. بنابراین شعاع A طیف کاملی از سرخ تا بنفش را به وجود می‌آورد؛ شعاع B نیز یک طیف کامل از سرخ تا بنفش را پدید می‌آورد و الی آخر.

کار جمع کردن مؤلفه‌های سرخ همه شعاع‌ها در یک مکان توسط شیئی تلسکوپ انجام می‌گیرد: این عدسی همهٔ اجزاء سرخ تجزیه شده و نیز همهٔ اجزای تجزیه شده رنگ‌های دیگر را جمع می‌کند و یکی بعد از دیگری قرار می‌دهد. چشم که از چشمی تلسکوپ نگاه می‌کند توالی رنگ‌هایی را می‌بیند که همان طیف است و البته متشکل از تصویرهای شکاف باریک است و هر تصویر را نوری با طول‌موج مخصوص تشکیل داده است. به شکل (ت) ۳-۶

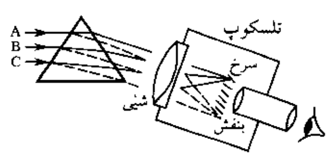
شکل (ب) ۳-۶ نور را می‌توان موج شمرد. از نظر فنی نور یک شاخه از گروه بسیار بزرگ امواج الکترومغناطیسی است. تا جایی که می‌دانیم تنها تفاوت اساسی میان نور بنفش و نور آبی در طول موج آنهاست.



شکل (پ) ۳-۶ شکاف کلیماتور. شکاف در کانون عدسی کلیماتور قرار داده می‌شود. عدسی شعاع‌های واگرا را موازی هم می‌کند.



شکل (ت) ۳-۶ قسمت تلسکوپ طیف‌نما. هر شعاع به طیفی کامل تجزیه می‌شود. شیئی تلسکوپ همهٔ اجزاء سرخ را در یک جا و همه اجزاء بنفش را در جای دیگر جمع می‌کند. ناظر با نگاه کردن از چشمی طیف کامل رنگ‌ها را از سرخ تا بنفش می‌بیند.



نگاه کنید. اگر نوری که از شکاف می‌گذرد همهٔ طول‌موج‌ها را شامل گردد، تصویرها توالی پیوسته‌ای را تشکیل می‌دهند. اگر نوری که وارد طیف‌نما می‌شود فاقد برخی از طول موج‌ها باشد طیف پیوسته نخواهد بود. جایی که معمولاً به توسط طول‌موج‌های گم‌شده اشغال می‌شود سیاه به‌نظر خواهد رسید.

برخی از چشمه‌های نور، مثلاً چراغ نئون، فقط چند طول‌موج معین را گسیل می‌کنند. طیف آنها به صورت یک رشته خطوط روشن به‌نظر می‌رسد که نوارهای پهن سیاهی آنها را از هم جدا می‌کند. هر خط روشن، تصویری از شکاف است که یکی از طول‌موج‌های موجود در نور تشکیل داده است.

در بحث بالا، نور هم به صورت یک حرکت موجی و هم به صورت یک شعاع توصیف شد. موج تصویر درست‌تر است. شعاع تنها برای مشخص کردن امتداد حرکت موج به کار می‌رود.

۶-۴ طیف‌نما با توری پراش

در این طیف‌نما، به جای منشور یک توری پراش قرار داده شده است. ساده‌ترین شکل توری به صورت قطعهٔ شیشه‌ای است که بر آن تعداد زیادی خطوط موازی حک شده است. هرچه تعداد خطوط در سانتیمتر بیشتر باشد، توری بهتر است. توری‌های خوب در حدود پانزده هزار خط در سانتیمتر دارند. نوری که از توری می‌گذرد به رنگ‌های مختلف تجزیه می‌شود. اما تجزیه در این مورد بر اساس شکست نیست. بلکه در نتیجهٔ تداخل میان امواج نوری است که از فاصلهٔ بین خطوط گذر کرده‌اند.

۶-۵ مقایسهٔ طیف‌نماها

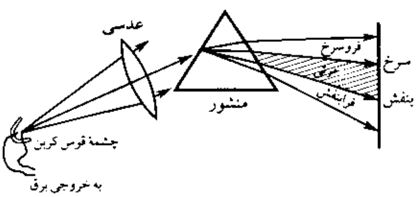
طیف‌نمای توری‌دار برتر از طیف‌نمای منشوری است. زیرا طیف را گسترده‌تر می‌سازد. طیف‌نمای منشوری نور را در فضای کوچکی متمرکز می‌کند و طیفی که پدید می‌آورد پرنورتر از طیف طیف‌نمای توری‌دار است. این طیف‌نما منحصراً برای بررسی نوری به کار می‌رود که از ستارگان کم فروغ و اجرام سماوی دیگر به ما می‌رسد.

۶-۶ انواع طیف (مرئی)

چند نوع طیف وجود دارد: پیوسته، خط روشن و خط تاریک.

طیف پیوسته، چنان که از نامش برمی‌آید نمایشی است از همهٔ رنگ‌ها،

از سیرترین سرخ تا فرابنفش و رنگین کمان آسمان مثال خوبی از آن است. در آزمایشگاه می‌توان با گرما دادن به یک جسم جامد، یک مایع و یا یک گاز چگال و بالا بردن دمای آن تا چندین هزار درجهٔ سانتیگراد، طیفی پیوسته پدید آورد. مثلاً نوری که از رشتهٔ چراغ برق گسیل می‌شود دارای چنین طیفی است. به شکل (آ) ٦-٦ نگاه کنید.

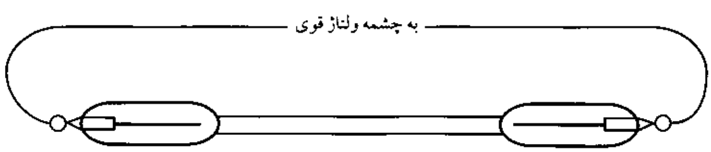


شکل (آ)٦-٦ طیف پیوسته. نور مرئی چراغ قوس کربن، طیفی پیوسته ایجاد می‌کند که گسترهٔ رنگ آن از سرخ تا بنفش است. توجه داشته باشید که طیف مرئی فقط قسمتی از تمام طیف است.

فراتر از بنفش مرئی، نور فرابنفش جای دارد که با چشم انسان دیده نمی‌شود. آن را می‌توان یا به کمک پردهٔ فلوئورسان و یا با استفاده از صفحهٔ عکاسی ردیابی کرد.

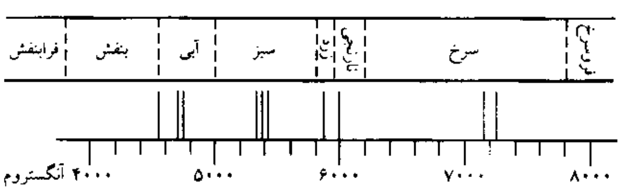
فروتر از سرخ مرئی، منطقهٔ وسیعی از تابش است که با چشم انسان دیده نمی‌شود و فروسرخ نام دارد. یکی از راه‌های ردیابی تابش فروسرخ استفاده از ترموکوپل است. تابش، اتصال ترموکوپل را گرم می‌کند و در آن جریانی الکتریکی به وجود می‌آورد. این جریان را می‌توان با یک گالوانومتر اندازه گرفت.

وقتی که نور از گازی گسیل می‌شود که در آن تخلیهٔ الکتریکی روی می‌دهد، طیف آن متشکل از چند خط موازی مجزا از هم است. این طیف به طیف خط روشن موسوم است. به شکل (ب) ٦-٦ نگاه کنید.



شکل (ب)٦-٦ تولید طیف خط روشن. یکی از راه‌های ایجاد طیف خط روشن آن است که: (آ) لوله را با گاز مورد نظر (با فشار کم) پر کنید، (ب) آنرا به پتانسیل الکتریکی قوی وصل کنید. نوری که از گاز ساطع می‌شود چون با طیف‌نما دیده شود، یک طیف خط روشن را به‌وجود می‌آورد.

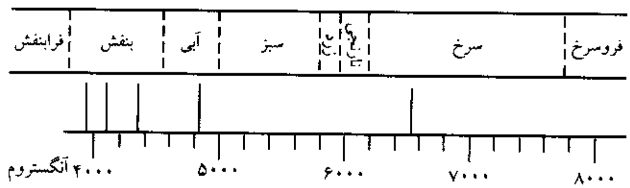
طیفی که به وسیلهٔ ئیدروژن تولید می‌شود، از چندین خط روشن بر زمینه‌ای تاریک تشکیل شده است. به شکل (پ) ٦-٦ نگاه کنید.



شکل (پ)٦-٦ طیف ئیدروژن. این شکل مربوط به یک نگاتیو (خطوط تاریک بر زمینه‌ای روشن) است. روی پوزیتیو، خطوط رنگین (نارنجی، آبی و بنفش) بر زمینه‌ای تاریک ظاهر می‌شوند.

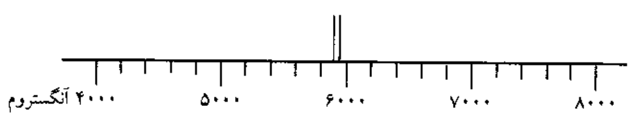
باید توجه داشت که خط روشن شکل شکاف را نشان می‌دهد. اگر شکاف به صورت هلال باشد، خطوط نیز هلالی شکل خواهند بود.

رنگ شاخص تابلوهای نئون، نتیجهٔ خطوط نارنجی و سرخ روشن در طیف آن است. به شکل (ت) ٦-٦ نگاه کنید.



شکل (ت)٦-٦ طیف نئون. رنگ شاخص تابلوهای نئونی نتیجهٔ شدت زیاد خطوط سرخ و نارنجی در طیف آن است. این خطوط رنگ‌های دیگر طیف را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. این شکل نگاتیو طیف را نشان می‌دهد. روی پوزیتیو، خطوط رنگ‌های یاد شده را بر زمینه‌ای تاریک دارند.

خطوط روشن هر عنصری را می‌توان با قرار دادن نمک فرّاری از آن عنصر در شعلهٔ آتش، به وجود آورد. طیف بخار سدیم فقط دارای یک خط زرد روشن بر زمینه‌ای تاریک است. دقت بیشتر نشان می‌دهد که خط زرد یک خط دوتایی است یعنی دو خط بسیار نزدیک به هم است که با علامت‌های D_1 و D_2 نموده می‌شود. به شکل (ث) ٦-٦ نگاه کنید.



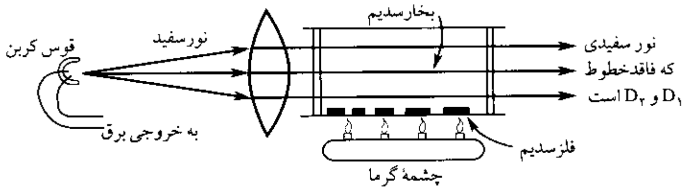
شکل (ث)٦-٦ طیف سدیم. نور زرد شاخص چراغ‌های سدیم عمدتاً معلول دو خط بسیار روشن در ناحیهٔ زرد طیف است. خطوط طیفی را معمولاً با حروف و اعداد مشخص می‌کنند. دو خط طیف سدیم به خطوط D_1 و D_2 موسومند. طول موج خط D_1 برابر ۵۸۹۶ آنگستروم و طول موج خط D_2 برابر ۵۸۹۰ آنگستروم است. این دو خط به قدری به یکدیگر نزدیک اند که در تفکیکِ کم به صورت یک خط پهن به نظر می‌رسند.

باید به دقت تمام توجه داشت که هر عنصر شیمیایی همیشه الگوی ثابتی از خطوط را نشان می‌دهد. بدین معنی که هر عنصر اثر انگشت خود را دارد که هیچ عنصر دیگری دارای آن نیست. از این مطلب در تجزیهٔ شیمیایی و بسیاری رشته‌های کاربستی دیگر استفاده می‌شود.

طیف خط تاریک، که طیف جذبی نیز نامیده می‌شود، نتیجهٔ جذب نوری با طول‌موج معین به توسط گازهای نسبتاً سرد است. طول‌موج‌های جذب شده همان طول‌موج‌هایی است که گاز وقتی به اندازهٔ کافی برانگیخته شود، گسیل

می‌کند.

بخار سرد سدیم دو خط زرد D_1 و D_2 را از طیف پیوسته حذف می‌کند. به شکل (ج) ٦-٦ نگاه کنید.



شکل (ج)٦-٦ طیف خط تاریک. نور معمولی که طیفی پیوسته دارد، با عبور از میان گازی «سرد» بعضی از اجزاء خود را از دست می‌دهد. اجزاء از دست رفته همیشه همان‌هایی اند که گاز به هنگام تشعشع، گسیل می‌کند. به این ترتیب بخار سدیم خطوط D_1 و D_2 را از طیف پیوسته حذف می‌کند. یک راه برای ایجاد طیف خط تاریک یا طیف جذبی در اینجا نشان داده شده است.

بنابراین طیف سدیم به صورت دو خط تاریک در زمینه‌ای از طیف پیوسته به نظر خواهد رسید. به شکل (چ) ٦-٦ نگاه کنید.



شکل (چ)٦-٦ طیف خط تاریک بخار سدیم. این طیف معکوس طیف خط روشن است. خطوط زرد D_1 و D_2 در زمینه‌ای از طیف پیوسته، تاریک به نظر می‌رسند. (توجه کنید که شکل فوق یک نگاتیو است و در نتیجه، تاریک و روشن جایشان عوض شده است).

طیف ستاره‌ها از نوع «خط تاریک» است. منشاء طیف پیوسته در سطح ستاره است. خطوط تاریک معلول جو بیرونی ستاره است که نسبتاً سردتر است. نمونه‌ای از طیف نور یک ستاره در شکل (ح) ٦-٦ نشان داده شده است.



شکل (ح)٦-٦ نمونه‌ای از طیف یک ستاره. طیف ستاره‌ها، طیف خط تاریک است. برخی از خطوط تاریک مربوط به ئیدروژن است و بعضی دیگر مربوط به هلیوم و نیز خطوط دیگر از عناصر دیگر است. از مطالعهٔ دقیق این خطوط، اطلاعاتی در مورد مواد موجود در سطح ستاره و نیز اطلاعات دیگر به دست می‌آید.

٦-٧ طیف ستارگان

تحلیل چنین طیفی به تفکیک خطوط به چندین گروه می‌انجامد که هر گروه

مربوط به یکی از ۹۲ عنصر طبیعی است. به این ترتیب، طیف‌نمایی به تعیین مواد موجود در هر ستاره و مقادیر نسبی عناصر، که از روشنی نسبی گروه‌های مختلف به دست می‌آید، کمک می‌کند.

البته این تحلیل به عناصر موجود در جو ستاره مربوط می‌شود. احتمال دارد که ترکیب داخل یک ستاره شبیه ترکیب جو آن باشد.

۸-۶ انواع طیف (انرژی)

در برخی مطالعات (مثلاً برای یافتن دمای یک ستاره) نه تنها دانستن طول‌موج‌ها (رنگ‌ها)یی که در طیف ظاهر می‌شود دارای اهمیت است، بلکه اطلاع از مقدار انرژی موجود در هر طول‌موج هم لازم است.

در شکل (آ) ۸-۶ منحنی انرژی بر حسب طول‌موج، برای یک طیف پیوسته رسم شده است (λ علامت طول‌موج است).

منحنی انرژی یک طیف از راه زیر به دست می‌آید:

آ. ایجاد کردن طیف بر روی پرده،

ب. تبدیل نور به انرژی گرمایی در هر طول‌موج، بدین طریق که اجازه داده می‌شود که نور به توسط جذب کنندهٔ خوبی (جسم سیاه، به بخش ۳-۷ نگاه کنید) جذب گردد.

پ. تعیین مقدار انرژی گرمایی هر طول‌موج،

ت. رسم منحنی انرژی نسبت به طول‌موج،

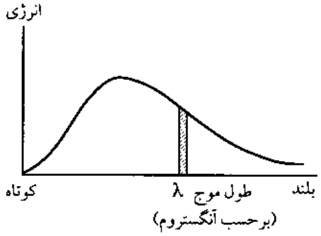
گوشزدها:

۱. باید توجه داشت که طیف از کوتاه‌ترین طول‌موج‌ها (پرتو X و غیره) شروع می‌شود و تا بلندترین طول‌موج‌ها (فروسرخ و رادیویی) ادامه می‌یابد و در دو حد طیف، انرژی‌ها نسبتاً اندک اند. همچنین باید دانست که قسمت‌های مختلف طیف بایستی بررسی شود و برای هر قسمت وسایل و تکنولوژی خاصی لازم است. بنابراین رشته‌هایی به نام‌های نجوم پرتو X، نجوم رادیویی و غیره وجود دارد.

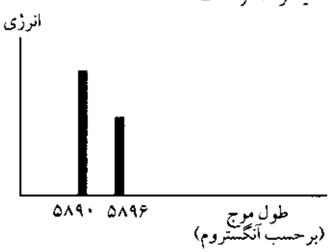
۲. وقتی که دمای گسیلنده زیاد است، دو تغییر در منحنی روی می‌دهد:

آ. سطح زیر منحنی بزرگ‌تر می‌شود، یعنی در هر طول‌موج انرژی بیشتری گسیل می‌شود.

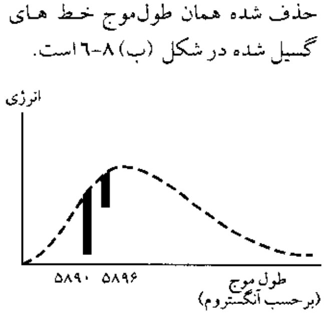
ب. ماکزیموم (برآمدگی) منحنی به سمت طول‌موج‌های کوتاه‌تر تغییر مکان پیدا می‌کند.



شکل (آ) ۸-۶ یک منحنی انرژی. این منحنی، نوعی است که مقدار انرژی را برحسب ارگ (محور عمودی)، در هر طول‌موج بر حسب آنگستروم (محور افقی) نشان می‌دهد.



شکل (ب) ۸-۶ منحنی انرژی سدیم را نشان می‌دهد که فقط در طول‌موج‌های ۵،۸۹۰ و ۵،۸۹۶ آنگستروم، انرژی گسیل شده است. انرژی طول‌موج‌های دیگر صفر است.



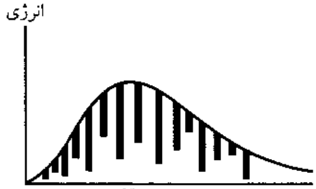
شکل (پ) ۸-۶ منحنی جذب برای سدیم. این منحنی متشکل از توزیعی پیوسته است که از آن دو طول‌موج حذف شده‌اند. طول‌موج‌های خط های حذف شده همان طول‌موج خط های گسیل شده در شکل (ب) ۸-۶ است.

منحنی انرژی طیف خط روشن سدیم (شکل (ث) ٦-٦) در شکل (ب) ٨-٦ نموده شده است. در این منحنی، دو خط انرژی دیده می‌شود که مربوط به نور زردی است که از سدیم گسیل شده است و در طول‌موج‌های دیگر هیچ انرژیی وجود ندارد.

به همین قیاس، منحنی انرژی طیف خط تاریک سدیم (شکل (ج) ٦-٦) به صورت شکل (پ) ٨-٦ است. این منحنی، منحنی پیوسته‌ای است که دو خط از آن حذف شده است. طول‌موج خط‌های حذف شده عبارت اند از ۵۸۹۰ و ۵۸۹۶ آنگستروم.

بالاخره منحنی انرژی مربوط به یک ستاره، خطوط بسیاری را نشان می‌دهد که بر اثر جذب از منحنی پیوسته، حذف شده‌اند. به شکل (ت) ٨-٦ نگاه کنید. این خطوط را می‌توان به چندین گروه تقسیم کرد که هر گروه مربوط به یکی از نودودو عنصری است که به طور طبیعی یافت می‌شوند.

شکل (ت) ٨-٦ منحنی انرژی یک ستاره. منحنی پیوسته‌ای است که بر اثر جذب نور ستاره در جو خود، بسیاری خطوط از آن حذف شده‌اند.



فصل ۷

خواص فیزیکی ستارگان

قسمت اول: دمای ستارگان

۷-۱ مقدمه

از طیفی که از نور یک ستاره به دست می‌آید، برای تعیین دمای سطح آن، یعنی دمای لایه‌ای که به «نورسپهر» موسوم است، نیز استفاده می‌شود. دمای نورسپهر ستاره‌ها بسیار کمتر از دمای داخل آنها است.

دما را معمولاً بر حسب مقیاس مطلق (یا کلوین) که به $^\circ K$ نموده می‌شود بیان می‌کنند. برای تبدیل مقیاس مطلق به مقیاس سانتیگراد، باید $^\circ$ ۲۷۳ از اولی کم کرد. دمای نورسپهر ستاره‌ها در حدود هزاران درجهٔ مطلق است.

دماهای سطحی ستاره‌ها، معمولاً در حدود $^\circ K$ ۵۰۰۰ تا $^\circ K$ ۷۰۰۰ است. ستاره‌های فوق‌العاده سوزان نظیر ζ (زتا)-کشتی‌دم دمایی برابر با $^\circ K$ ۳۰،۰۰۰ دارند و قراینی وجود دارد حاکی از آن که دمای سطحی بعضی ستارگان به $^\circ K$ ۵۰،۰۰۰ می‌رسد. از سوی دیگر دمای سردترین ستارهٔ شناخته شده χ (خی)-دجاجه، که ستارهٔ متغیری است، به هنگام می‌نیموم فقط $^\circ K$ ۱۸۰۰ یا در حدود $^\circ C$ ۱۵۰۰ است.

گوشزد: برای تبدیل مقیاس سانتیگراد به مقیاس فارنهایت، اولی را در $\frac{۹}{۵}$ ضرب کنید و ۳۲ را به حاصل بیفزایید. دمای خی- دجاجه در مقیاس فارنهایت عبارت است از:

$$۱۵۰۰ \times \frac{۹}{۵} + ۳۲ = \text{تقریباً } ۲{,}۷۰۰\ ^\circ F$$

۷-۲ محاسبهٔ دمای ستارگان

یکی از روش‌های تعیین دمای ستاره از روی طیف آن، مستلزم سه گام مقدماتی

است: (آ) تعیین توزیع انرژی طیف. (ب) پیدا کردن طول موج مربوط به انرژی ماکزیموم و (پ) به کار بردن قانون وین.

آ. تعیین توزیع انرژی طیف. به بخش ۸-۶ نگاه کنید.

ب. پیدا کردن طول موج مربوط به انرژی ماکزیموم. به شکل ۲-۷ نگاه کنید. این طول‌موج با علامت λ_{max} مشخص شده است و برای محاسبهٔ دمای ستاره به کار می‌رود.

پ. به کار بردن قانون وین. ویلهلم وین (۱۹۲۸-۱۸۶۴) فرمول ساده‌ای به دست آورد که λ_{max} را به دما مربوط کند:

$$T = \frac{289\times10^5}{\lambda_{max}}$$

بنا بر این فرمول، طول‌موجی که انرژی در آن ماکزیموم است به طور معکوس با دما متناسب است؛ یا این که هرچه دما بیشتر باشد مقدار λ_{max} کوچک‌تر است. این مطلب را به آسانی می‌توان ثابت کرد. وقتی آهن را حرارت دهیم، نخست گرمای سرخ (طول‌موج بلند) کمسویی از آن ساطع می‌شود. سپس با افزایش دما، رنگ آن به نارنجی، زرد و آبی (طول‌موج‌کوتاه) تغییر می‌کند.

وقتی λ_{max} تعیین شد، فرمول وین محاسبهٔ دمای ستاره را میسر می‌سازد. در مورد خورشید، طول‌موج انرژی ماکزیمم برابر ۴،۷۰۰ آنگستروم است. دمای نورسپهر خورشید برابر است با:

$$T = \frac{289\times10^5}{4700} = 6150\ ^\circ K$$

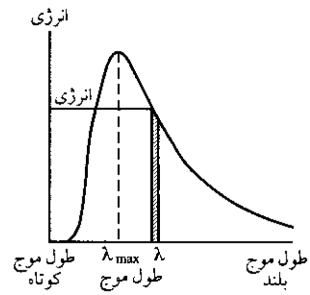
دمایی که به این روش تعیین می‌شود به دمای «جسم سیاه» موسوم است. (جسم سیاه مفهوم فیزیکی جسمی است که جذب کنندهٔ کامل تابش است).

۳-۷ روش‌های دیگر تعیین دما

برای تعیین دما از دو روش دیگر هم زیاد استفاده می‌شود. در یکی از این دو روش سطح کل زیر منحنی انرژی به‌کار می‌رود و در روش دیگر مقادیر انرژی‌ای که در چند طول‌موج از منحنی انرژی به دست می‌آید.

در مورد اول به جای انرژی ماکزیموم، انرژی کل زیر منحنی برای تعیین دمای خورشید به کار می‌رود. مقداری که به‌دست می‌آید برابر ۵،۷۵۰ $^\circ K$ است، این مقدار را دمای مؤثر نامند.

در مورد دوم از شدت نسبی نور در چندین طول‌موج مختلف استفاده می‌شود. دمایی که به این روش به دست می‌آید دمای رنگ نام دارد. دمای



شکل ۲-۷ توزیع انرژی در یک طیف. شدت، یعنی مقدار انرژی موجود در خطوط مختلف در یک طیف، بسیار متفاوت است. این منحنی مقدار انرژیی (محور قائم) که در هر طول‌موج وجود دارد نشان می‌دهد، مثلاً در λ مقدار انرژی با ارتفاع ستون سایه خوردهٔ عمودی مشخص می‌شود. طول‌موج بخصوصی که این منحنی در آن ماکزیموم می‌شود با λ_{max} مشخص شده است. از این عدد در قانون وین استفاده می‌شود تا دمای سطحی یک ستاره تعیین شود.

رنگ خورشید نزدیک به K ° ۷،۰۰۰ است.

گوشزدها:

۱. در اینجا تأکید شد که این دماها مربوط به لایه‌های سطحی ستاره است که نور ستاره را گسیل می‌کنند. دمای داخل ستاره‌ها از مرتبهٔ بزرگی کاملاً متفاوتی است. دمای داخل ستاره‌ها از مرتبهٔ هزاران درجه نیست بلکه از مرتبهٔ میلیون‌ها درجه است. این دماها را بعداً بررسی خواهیم کرد.

۲. سه روش محاسبه بالا، سه مقدار مختلف برای دمای سطح خورشید به دست می‌دهد؛ دمای «واقعی» را می‌توان میانگینی از این مقادیر اختیار کرد.

قسمت دوم: فواصل ستارگان

۴-۷ مقدمه

برخی از ستاره‌ها نسبتاً به ما نزدیک اند؛ نوری که از آنها ساطع می‌شود پس از چند سال به ما می‌رسد؛ فاصلهٔ ستاره‌های دیگر آدمی را به حیرت می‌افکند.

این بخش به روش مستقیم تعیین فاصلهٔ ستاره‌ها مربوط می‌شود.

در بعضی از روش‌های غیرمستقیم پیدا کردن فواصل، از اطلاعاتی استفاده می‌شود که از ستاره‌های نوع خاصی نظیر قیفاوسی‌ها، RR-شلیاقی‌ها و غیره به‌دست می‌آید. این روش‌ها را به هنگام بررسی این ستاره‌های بخصوص به اختصار شرح خواهیم داد.

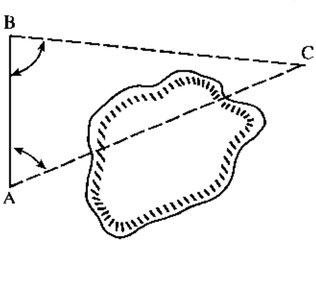
۵-۷ روش مستقیم

یکی از روش‌هایی که برای یافتن فاصلهٔ یک ستاره به کار می‌بریم مثلث‌بندی یا روش مستقیم نام دارد. به شکل(آ) ۷-۵ نگاه کنید. در این روش که مساحان هم از آن استفاده می‌کنند، فاصله‌ای چون AC با اندازه گیری سه کمیت، تعیین می‌شود: طول یک خط که به طور دلبخواه اختیار شده است مانند AB و دو زاویهٔ A و B. خط AB به خط وضعیت موسوم است. فاصلهٔ AC به کمک این خط وضعیت و این دو زاویه محاسبه می‌شود.

فرمول‌های متداول مثلثات مقدماتی در این محاسبات به کار می‌رود.

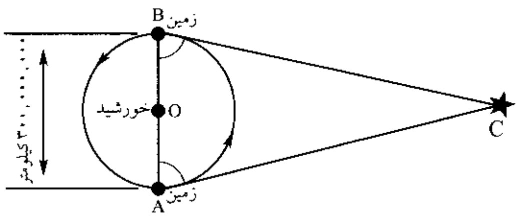
دقت اندازه گیری موقعی خوب است که اندازه خط وضعیت با فاصلهٔ مورد نظر قابل مقایسه باشد. بنابراین اگر AC دو کیلومتر است، خط وضعیت نیز باید در حدود دو کیلومتر باشد.

شکل (آ) ۵-۷ یافتن فواصل به روش مثلث‌بندی. برای پیدا کردن فاصلهٔ بین نقاط A و C که ممکن است در دو سوی متقابل یک دریاچه باشد، خط وضعیتی مانند AB فرض می‌شود. با دانستن طول خط AB و دو زاویهٔ A و B به سهولت می‌توان طول مطلوب AC را محاسبه کرد.



اِشکالی که منجم در تعیین فاصله با آن روبرو است، در اختیار نداشتن خط وضعیتی است که «به اندازهٔ کافی طویل» باشد. بزرگ‌ترین خطی که در اختیار منجم قرار دارد، قطر مدار زمین به دور خورشید است (۳۰۰ میلیون کیلومتر) که کسر کوچکی از فاصلهٔ ما تا نزدیک‌ترین ستاره است.

با استفاده از این خط وضعیت ۳۰۰ میلیون کیلومتری، زاویهٔ A ، به صورتی که در شکل(ب) ۵-۷ نشان داده شده است، به‌دقت اندازه گرفته می‌شود. شش ماه بعد که زمین در نقطهٔ B قرار دارد زاویهٔ B به دقت تمام اندازه گیری می‌شود. با استفاده از این اطلاعات و فرمول‌های مثلثاتی مربوط می‌توان زاویهٔ C و فواصل AC و BC و OC را محاسبه کرد.



شکل (ب) ۵-۷ روش تعیین فاصله از خورشید تا ستارهٔ نزدیک.

این روش که تنها برای تعیین فاصلهٔ ستاره‌های نزدیک به کار می‌رود بر این فرض مبتنی است که مکان نسبی ستاره‌های دوردست در یک دورهٔ شش ماهه تغییر چندانی پیدا نمی‌کند.

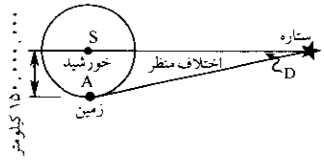
گوشزدها:

۱. فاصلهٔ یک ستاره معمولاً به معنی فاصلهٔ بین مرکز ستاره و مرکز خورشید است. بعضی مواقع فاصلهٔ بین مرکز ستاره و مرکز زمین به‌کار می‌رود. از اختلاف بین این دو که حداکثر برابر شعاع مدار زمین است، در اندازه‌گیری فواصل ستاره‌ای می‌توان چشم پوشی کرد.

۲. بنابر توافق میان منجمان، شعاع مدار زمین، به عنوان خط وضعیت اختیار می‌شود نه قطر آن.

۳. زاویهٔ D که شعاع مدار زمین در رأس ستاره می‌سازد (یعنی نصف زاویهٔ C) به «اختلافِ منظر» معروف است. هرچه ستاره دورتر باشد اختلاف منظر آن کمتر است. به شکل(پ)۵-۷ نگاه کنید.

شکل (پ) ۵-۷ زاویهٔ D به اختلاف منظر موسوم است.



اختلاف منظر ستاره‌ها، زوایای فوق‌العاده کوچکی اند. حتی نزدیک‌ترین ستاره، که α (آلفا)- قنطورس باشد، اختلاف منظری برابر ۷۵۶ر۰ ثانیهٔ قوس

دارد. این زاویه بسیار کوچک‌تر از زاویه‌ای است که تحت آن یک سکهٔ یک ریالی از فاصلهٔ یک کیلومتری دیده می‌شود. اختلاف منظر ستاره‌های دیگر ۰٫۱ ثانیه و کمتر است.

اندازه‌گیری زاویه‌ای به این کوچکی، کاری است بسیار سخت و توان‌فرسا. در جریان یافتن اختلاف منظر ستاره‌های مختلف، تصحیحات بسیاری را باید در قرائت‌های راصد اعمال کرد. (امروزه برخی از این تصحیحات با تکنیک‌هایی که برای اندازه‌گیری اختلاف منظر ابداع شده است به طور اتوماتیک انجام می‌شود).

بعضی از این تصحیحات به خاطر حرکت ستاره است و منشأ تصحیحات دیگر حرکت ناظر. تصحیحات دیگری نیز وجود دارد که معلول شکست نور به وسیلهٔ جو زمین است.

در شش ماهی که بین دو رصد وقفه می‌افتد، ستاره خود ممکن است نسبت به ستارگان دیگر حرکت کرده باشد. در این مدت منظومهٔ شمسی همراه با ناظر تغییر مکان می‌دهد. برای آن که برآورد معقولی از اندازهٔ این تصحیحات به‌دست آید برای هر ستارهٔ تحت مطالعه، چندین دسته اندازه‌گیری که طی چندین سال انجام شده است، بررسی می‌شود. از روی اندازه‌گیری‌هایی که به فاصلهٔ یک سال از هم انجام شده است می‌توان تصحیحاتی را برآورد کرد که در نتیجهٔ این حرکات ضرورت پیدا می‌کند. تصحیحات مربوط به شکست نور به وسیلهٔ جو زمین را باید به دقت تمام محاسبه کرد، وگرنه خطای زیادی در تعیین فاصله راه می‌یابد.

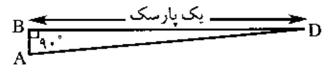
فاصلهٔ بیشتر ستاره‌ها را نمی‌توان به این روش به‌دست آورد، زیرا اختلاف منظر آنها به قدری کوچک است که حتی با بهترین وسایل موجود، اندازه گرفتنی نیست. روش مستقیم را، که به روش اختلاف منظر هم موسوم است، فقط می‌توان در مورد ستاره‌هایی به کار برد که از ۳۰۰ سال نوری به ما نزدیک‌تر اند.

۶-۷ واحدهای فواصل ستاره‌ای

فاصلهٔ ستاره‌ها از ما به قدری زیاد است که واحدهای معمولی - مثلاً کیلومتر - به‌درد نمی‌خورد. نزدیک‌ترین ستاره ۴۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر از ما فاصله دارد. عددی که نوشتن آن، به‌خاطر سپردن آن و به کار بردن آن سخت است.

در نجوم معمولاً سه واحد به کار می‌رود: (آ) واحد نجومی؛ (ب) پارسک،

شکل ۶-۷ تعریف پارسک. اگر: (۱) زاویهٔ B مساوی ۹۰° باشد؛ (۲) ضلع AB برابر ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر باشد و (۳) زاویهٔ D برابر ۱ ثانیه باشد، آنگاه طول ضلع BD مساوی یک پارسک است.



و (پ) سال نوری.

آ. واحد نجومی بنا به تعریف برابر با فاصلهٔ زمین تا خورشید یعنی ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. این واحد، از نظر نجومی واحدی نسبتاً کوچک است و بیشتر برای بیان فواصل در منظومهٔ شمسی به‌کار می‌رود. به این ترتیب فاصلهٔ سیارهٔ پلوتون ۴۰ واحد نجومی یا ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۴۰ کیلومتر (۶،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر) است. (AU علامت اختصاری واحد نجومی است).

ب. تعریف پارسک بر زاویه‌ای که در شکل ۶-۷ نشان داده شده، مبتنی است.

اگر اختلاف منظر D برابر یک ثانیهٔ قوس باشد، فاصلهٔ بین ستاره و خورشید، بنا به تعریف، برابر یک پارسک است.

یک پارسک فاصلهٔ فوق‌العاده بزرگی است. این واحد بر حسب کیلومتر تقریباً برابر ۳۰ میلیون میلیون کیلومتر است.

شکل ۶-۷ بزرگی پارسک را به خوبی نشان نمی‌دهد، زیرا زاویه، به مقیاس کشیده نشده است. وقتی که شکل به مقیاس کشیده شود، زاویهٔ A خیلی نزدیک به ۹۰° خواهد بود (برابر ۹۰° منهای ۱ ثانیه است)؛ اضلاع BD و AD تقریباً موازی اند و نقطهٔ D بسیار دور از ضلع AB واقع است.

یک پارسک، ۲۰۶،۲۶۵ برابر یک واحد نجومی است.

مسئله (آ) ۶-۷: به‌دست آورید که یک پارسک چند کیلومتر است؟

جواب:

۱ پارسک = ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۲۰۶،۲۶۵ کیلومتر

= ۳۰٫۹ تریلیون کیلومتر

= ۳۰٫۹ × 10^{12} کیلومتر

برحسب این واحد، فاصلهٔ نزدیک‌ترین ستاره، آلفای قنطورس، ۱٫۳ پارسک است. ستاره‌های دیگر به فاصلهٔ صدها و هزارها پارسک اند.

به رابطهٔ سادهٔ میان اختلاف منظر یک ستاره و فاصلهٔ آن به پارسک باید توجه داشت. یکی عکس دیگری است. بنابراین ستاره‌ای که اختلاف منظر آن ۰٫۵ ثانیه قوس است به فاصلهٔ دو پارسک و ستاره‌ای که اختلاف منظر آن ۰٫۲ ثانیه قوس است به فاصلهٔ ۵ پارسک و ستاره‌ای که اختلاف منظر آن ۰٫۱ ثانیه قوس است به فاصلهٔ ۱۰ پارسک قرار دارد و الی آخر.

پ. واحد دیگر فاصلهٔ نجومی سال نوری است که به صورت فاصله‌ای که

یک شعاع نور در مدت یک سال می‌پیماید تعریف می‌شود. قبلاً در بخش ۱-۱۹ نشان داده شد که یک سال نوری برابر با ۵ر۹ تریلیون کیلومتر (9.5×10^{12} کیلومتر)است.

برحسب این واحد فاصله، α-قنطورس ۲ر۴ سال نوری از ما فاصله دارد و یا این که نوری که ما از این ستاره دریافت می‌کنیم ۲ر۴ سال در راه بوده است.

فاصله برحسب پارسک را به آسانی می‌توان به صورت فاصله بر حسب سال نوری بیان کرد.

یک پارسک = ۲۶ر۳ سال نوری

دو پارسک = ۵۲ر۶ سال نوری

ده پارسک = ۶ر۳۲ سال نوری و الی‌آخر

مسئله (ب)۶-۷:

فاصلهٔ شعرای یمانی از ما ۶ر۸ سال نوری است، فاصلهٔ آن را بر حسب (آ) پارسک، (ب) واحد نجومی و (پ)کیلومتر به دست آورید.

سوای خورشید و α-قنطورس، ستاره‌های زیر در زمرهٔ نزدیک‌ترین ستاره‌ها به ما اند: ستارهٔ بارنارد به فاصلهٔ ۱ر۶ سال نوری، وولف ۳۵۹ به فاصلهٔ ۶ر۷ سال نوری، لالاند ۲۱۱۸۵ به فاصلهٔ ۱ر۸ سال نوری (این ستاره‌ها به نام منجمانی که در مورد آنها تحقیق کرده‌اند نامیده شده‌اند).

قسمت سوم: اندازهٔ ستارگان

۷-۷ مقدمه

ستاره‌ها به اندازه‌های گوناگون اند؛ کوچک‌ترین ستارهٔ † شناخته شده که قطر آن فقط ۶۵۰۰ کیلومتر است با شمارهٔ کاتالوگی آن $AC + 70^\circ$ ۸۲۴۷ [کاتالوگ آستروگرافیک (AC)، ستارهٔ شمارهٔ ۸۲۴۷، میل $N\ 70^\circ$] مشخص می‌شود.

بزرگ‌ترین ستارهٔ شناخته شده ε (اپسیلون)- ممسک‌العنان B است که

† چنان که در بخش ۷-۳۴ خواهیم دید، ستاره‌های نوترونی قطرهایی در حدود چند کیلومتر دارند.

قطری در حدود ۳،۰۰۰ برابر قطر خورشید دارد. (قطر خورشید ۱،۳۹۰،۰۰۰ کیلومتر است).

قطر یک ستاره را نمی‌توان مستقیماً به کمک تلسکوپ اندازه گرفت. ستاره‌ها، حتی در یک تلسکوپ بزرگ هم چون نقاطی نورانی به‌نظر می‌رسند که قطری قابل اندازه‌گیری ندارند. اخیراً روش‌هایی برای اندازه‌گیری قطر خطی واقعی یک ستاره ابداع شده است.

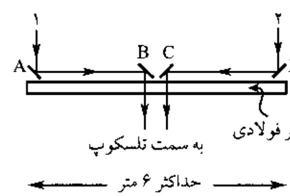
۸-۷ تعیین قطر ستاره با تداخل‌سنج

در سال‌های اخیر روش هوشمندانه‌ای که بر تداخل نور مبتنی است برای اندازه‌گیری قطر ستارگان به‌کار رفته است. با این روش، در واقع قطر زاویه‌ای اندازه گرفته می‌شود؛ البته این نقصی به‌حساب نمی‌آید، زیرا اگر قطر زاویه‌ای و فاصلهٔ ستاره معلوم باشد، قطر واقعی را به سهولت می‌توان محاسبه کرد.

قطر زاویه‌ای، زاویه‌ای است که قطر ستاره به رأس چشم ناظر می‌سازد.

این روش که ابتدا به توسط مایکلسون پیشنهاد شد، در سال ۱۹۲۰ در رصدخانهٔ مونت ویلسون مورد استفاده قرار گرفت. تداخل‌سنجی که بر انتهای فوقانی تلسکوپ ۲٫۵ متری نصب شد، اساساً از میله‌ای فولادی تشکیل شده بود که بر آن چهار آینه قرار داشت: دو آینهٔ بیرونی، A و D را می‌توان در امتداد میله حرکت داد به طوری که حداکثر فاصلهٔ بین آنها ۶۱۰ سانتیمتر است. دو آینهٔ داخلی، B و C، ثابت اند.

شکل (آ) ۸-۷ تداخل‌سنج مایکلسون. آینه‌های A و D با هم به داخل یا به سمت خارج حرکت می‌کنند تا آن که نوارهای تاریک و روشنی که در چشمی تلسکوپ دیده می‌شود، ناپدید گردد. وقتی این فاصله بخصوص میان آینه‌ها معین شد، محاسبهٔ قطر زاویه‌ای ستاره آسان است.



کار آینه‌های متحرک آن است که دو تابهٔ (۱) و (۲) را که بیشترین فاصلهٔ ممکن (طول میله) را از هم دارند، بگیرد. کار آینه‌های ثابت این است که این هر دو تابه را به داخل تلسکوپ بفرستند. به شکل (آ) ۸-۷ نگاه کنید.

کاملاً محقق شده است که این تابه‌ها که به اصطلاح از نقاط مختلف ستارهٔ واحدی می‌آیند، تداخل خواهند کرد. تصویر ستاره در تلسکوپ دیگر نه یک نقطه نورانی است و نه یک قرص جعلی پراش، بلکه مجموعه‌ای است از نوارهای باریک روشن و تاریک که کم و بیش به دندانه‌های یک شانه می‌ماند.

هم به طور نظری، هم از راه آزمایش، ثابت شده است که این نوارها به ازاء فاصلهٔ معینی میان آینه‌های متحرک، از میان می‌روند. در این فاصله، به شرط آن که ستاره بزرگ باشد، نوارهای روشنی که یک نیمهٔ ستاره پدید آورده است بر نوارهای تاریک نیمهٔ دیگر منطبق می‌شود. در این فاصلهٔ بین آینه‌ها، سرتاسر تصویر به یک اندازه روشن است. به شکل (ب) ۸-۷ نگاه کنید.

شکل (ب) ۸-۷ تصویر ستاره به صورتی که از مجموعهٔ تداخل‌سنج و تلسکوپ دیده می‌شود. ستاره به صورت قرص کوچکی به‌نظر می‌رسد که با نوارهای روشن و تاریک متناوب پوشانده شده است. این نوارها به ازای یک و فقط یک فاصله بین آینه‌ها از بین می‌روند و سرتاسر قرص به یک اندازه روشن می‌شود.



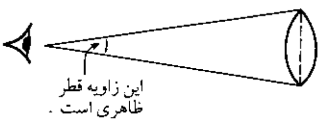
اگر فاصلهٔ بین آینه‌های متحرک با S مشخص شود، قطر زاویه‌ای (شکل

(پ) ۸-۷) ستاره را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

S ۱۲ = قطر زاویه‌ای

فاصلهٔ S باید برحسب سانتیمتر بیان شود، قطر زاویه‌ای برحسب ثانیه قوس است.

شکل (پ) ۸-۷ قطر زاویه‌ای، زاویه‌ای است که قطر یک دایره در چشم ناظر می‌سازد.



این روش، تنها قابل انطباق به بزرگ‌ترین، نزدیک‌ترین و پرنورترین ستاره‌ها است. قطر زاویه‌ای کمتر از بیست ستاره به روش تداخل‌سنجی اندازه‌گیری شده است.

برای قطرهای زاویه‌ای کوچک، فاصله بین آینه‌ها باید در حدود چندصد متر باشد. ولی چند ستاره‌ای که قطرشان به این طریق اندازه‌گیری شده است دارای اهمیت زیاد اند، زیرا قطرهایی را که از راه‌های غیرمستقیم محاسبه شده‌اند تأیید می‌کنند.

برخی از ستاره‌هایی که قطرشان با تداخل‌سنج اندازه گرفته شده است، عبارت اند از: ستارهٔ متغیر یدالجوزا که قطر زاویه‌ای آن بین ۳۴ ۰ر ۰ و ۴۲ ۰ر ۰ ثانیهٔ قوس تغییر می‌کند و سماک رامح و دبران که هریک قطری زاویه‌ای برابر ۲۰ ۰ر ۰ ثانیهٔ قوس دارند.

چون فاصلهٔ این ستاره‌ها معلوم است، قطر خطی آنها را با ضرب کردن قطر زاویه‌ای در فاصله می‌توان به دست آورد. قطر یدالجوزا مساوی ۸۰۰ برابر قطر خورشید است. قطرهای زاویه‌ای سماک رامح و دبران به ترتیب ۲۵ و ۴۰ برابر قطر خورشید است.

۹-۷ تعیین قطر ستاره‌ها از روی درخشندگی آنها

روش دیگری که برای تعیین قطر ستاره‌ها به کار می‌رود، بر رابطهٔ میان درخشندگی (L)، دما (T) و قطر (D) ستاره مبتنی است.

درخشندگی معیار روشنی واقعی ستاره است و چنان که خواهیم دید، کمیتی است که می‌توان آن را به سهولت برای بسیاری از ستاره‌ها به دست آورد.

درخشندگی معمولاً به صورت مضارب یا کسرهایی از درخشندگی خورشید بیان می‌شود. درخشنده‌ترین ستاره‌های شناخته شده ستاره‌ای است در ابر بزرگ ماژلان موسوم به S- ماهی طلایی. درخشندگی این ستاره ۰۰۰،۶۰۰،۰۰۰ است یعنی ۰۰۰،۶۰۰ بار از خورشید پرنورتر است؛ بدین معنی که اگر خورشید و S- ماهی طلایی را به یک فاصله، فرضاً یک پارسک، قرار دهیم ستارهٔ اخیر ۰۰۰،۶۰۰ مرتبه پرنورتر به‌نظر می‌رسد. معنی دیگر این

گفته این است که ستارهٔ یاد شده در هر ثانیه ۶۰۰،۰۰۰ برابر خورشید نور به فضا گسیل می‌کند.

ستاره‌ای که ذاتاً کم‌فروغ‌ترین ستارهٔ شناخته شده است، ندیم ۴۰۴۸ BD +۴° (ستارهٔ شماره ۴۰۴۸ در کاتالوگ بن که میل آن N °۴ است). درخشندگی آن فقط $\frac{۱}{۵۰۰،۰۰۰}$ خورشید است.

درخشندگی یک ستاره به دو عامل بستگی دارد: (۱) اندازهٔ ستاره؛ و (۲) مقدار نور مرئی که از هر کیلومتر مربع سطح آن گسیل می‌شود، که این به نوبهٔ خود تابع دمای سطحی ستاره است.

فرمولی که سه کمیت یاد شده را به هم مربوط می‌کند عبارت است از:

$$D = \left(\frac{۵،۷۵۰}{T}\right)^۲ \times \sqrt{L}$$

D قطر بر حسب قطر خورشید است. T دمای سطح ستاره برحسب درجهٔ مطلق و L درخشندگی ستاره مطابق معمول بر حسب درخشندگی خورشید است.

۵،۷۵۰ دمای مؤثر سطح خورشید (نورسپهر) است.

مسئلهٔ ۹-۷:
درخشندگی شعرای یمانی ۲۷ و دمای آن K° ۹،۸۰۰ است. قطر آن را به دست آورید.
جواب: چون اطلاعات داده شده را در فرمول قرار دهیم، مقدار زیر به‌دست می‌آید:

$$\left(\frac{۵،۷۵۰}{۹،۸۰۰}\right)^۲ \times ۲۷ = ۱٫۸$$ برابر قطر خورشید

قسمت چهارم: جرم و چگالی ستارگان

۱۰-۷ مقدمه

تفاوت جرم، میان ستاره‌ها بسیار کم است. جرم بیشتر ستاره‌ها بین یک پنجم و پنج برابر جرم خورشید است.

دامنهٔ تغییرات جرم نیز محدود است. یکی از پرجرم‌ترین ستاره‌های شناخته شده، HD۶۹۸ (ستارهٔ شمارهٔ ۶۹۸ در کاتالوگ طیف‌های ستارگان که در دانشگاه هاروارد تهیه شده و به افتخار دانشمند بزرگ آمریکایی هنری دری‌پر

Henry Draper نامگذاری شده است)، جرمی ۱۱۳ برابر جرم خورشید دارد. یکی از سبک‌ترین ستاره‌های شناخته شده، لویتن ‎۷۲۶-۸B‎ است که جرم آن فقط $\frac{۱}{۲۵}$ جرم خورشید است.

در حال حاضر هیچ روش مستقیمی برای پیدا کردن جرم یک ستاره وجود ندارد. ولی چندین روش غیرمستقیم موجود است. یکی از این روش‌ها را تنها در مورد جفت ستاره‌هایی می‌توان به‌کار برد که به دوتایی‌های بصری موسوم اند.

۱۱-۷ جرم دوتایی‌های بصری

یک دوتایی، جفت ستاره‌ای است که چون زمین و ماه بر گرد گرانیگاه مشترک‌شان می‌گردند. اگر دو ستارهٔ این جفت جدا از هم دیده شوند جفت را دوتایی بصری نامند. تاکنون در حدود ۶۰۰۰۰ دوتایی بصری شناخته شده است.

اصلی که در یافتن جرم یک دوتایی مورد استفاده قرار می‌گیرد بر قانون هارمونیک کپلر مبتنی است که آن را می‌توان به صورت فرمول ساده‌ای بیان کرد که مجموع دو جرم، فاصلهٔ بین آنها و دورهٔ تناوب حرکت انتقالی را به هم مربوط می‌کند. این فرمول عبارت است از:

$$M+m=\frac{P^{۲}}{a^{۳}}$$

که در آن $M+m$ مجموع دو جرم بر حسب واحد جرم خورشید است، P زمانی که لازم است تا خط واصل دو ستاره یک دوران کامل را تمام کند (که بر حسب سال بیان می‌شود)؛ و a فاصلهٔ متوسط بین دو ستاره (بر حسب واحد نجومی) است. فاصله "a" و دورهٔ تناوب "P" از مشاهدهٔ مستقیم به دست می‌آید. جرم منظومهٔ دوتایی $M+m$ به کمک فرمول بالا محاسبه می‌شود.

برای محاسبهٔ جرم تک تک ستارگان هر جفت، رصدهای دیگری باید انجام شود. این رصدها به حرکت مطلق هر ستارهٔ منظومهٔ دوتایی حول گرانیگاه مشترک مربوط می‌شود. جرم سنگین‌تر بیضی کوچکی را حول این گرانیگاه می‌پیماید در حالی که جرم کوچک‌تر بیضی بزرگی را طی می‌کند. از روی اندازهٔ این بیضی‌ها نسبت دو جرم تعیین می‌شود که همراه با مجموع جرم‌ها برای تعیین جرم هر ستاره کافی است.

فرضاً اگر مجموع دو جرم ۸ برابر جرم خورشید و نسبت آنها ۳ به ۱ باشد، جرم‌ها یکی ۶ و دیگری ۲ برابر جرم خورشید خواهد بود.

مسئله ۱۱-۷:

مجموع جرم‌های α ، $M-m$ (آلفا)- قنطورس و پروکسیما- قنطورس ۹۶ر۱ است. نسبت بین دو جرم ۲۳ر۱ است، جرم α (آلفا)- قنطورس و جرم پروکسیما- قنطورس را پیدا کنید.

جواب:

جرم α (آلفا)- قنطورس ۰۸ر۱ برابر جرم خورشید است. جرم پروکسیما قنطورس ۸۸ر ۰ جرم خورشید است.

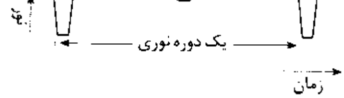
جرم گونهٔ دیگری از منظومه‌های دوتایی را، که به «دوتایی‌های طیف نمودی» موسوم اند، می‌توان تعیین کرد. یک دوتایی طیف‌نمودی یک جفت ستاره است که حتی در یک تلسکوپ بزرگ هم به صورت یک واحد به‌نظر می‌رسد. ماهیت واقعی این واحد تنها در مطالعهٔ طیف‌نمایی آن آشکار می‌شود. طیف (به بخش ۱۵-۷ نگاه کنید) ستاره حاکی از آن است که از دو ستاره تشکیل شده است که متناوباً به ناظر زمینی نزدیک و از او دور می‌شوند؛ حرکت آنها شبیه حرکت دو وزنهٔ یک دمبل دوار است. بیش از ۱،۵۰۰ دوتایی طیف‌نمودی شناخته شده است.

عیوق، پنجمین ستاره از لحاظ روشنی ظاهری، یک دوتایی طیف‌نمودی است. جرم عضو پرنورتر ۱۸ر۴ برابر و از آن ندیمش ۳۲ر۳ برابر جرم خورشید است.

* پیشتر در این کتاب اشاره شد که دوتایی گرفتی یک جفت ستاره اند که به دور یکدیگر می‌گردند و صفحهٔ مدار آنها تقریباً درست بر خط دید ناظر زمینی منطبق است، و در نتیجه متناوباً باعث گرفت (کسوف) یکدیگر می‌شوند.

دو ستارهٔ تشکیل دهندهٔ یک دوتایی گرفتی، به قدری به هم نزدیک اند که تفکیک آنها از یکدیگر با تلسکوپ هم میسر نیست و تنها نور مجموع آنها است که مشاهده می‌شود. پدیده گرفت سبب می‌شود که تغییراتی تناوبی در منحنی نور منظومه مشاهده شود. وقتی ستارهٔ سردتر (که نور کمتری از واحد سطح خود گسیل می‌کند) از جلوی ستارهٔ داغ‌تر (که نور بیشتری از واحد سطحش ساطع می‌شود) عبور کند، نور منظومه به کمترین مقدار خود می‌رسد (شکل ۱۱-۷). از روی منحنی نور منظومهٔ دوتایی می‌توان دورهٔ تناوب حرکت مداری را تعیین کرد. اما چون فاصلهٔ دو ستاره از هم معلوم نیست، تعیین جرم ستاره‌ها (آن طور که در مورد دوتایی‌های بصری دیدیم) به آسانی امکان‌پذیر نیست. منجمان با اطلاعات دیگری که از بررسی دقیق منحنی نور

* شکل ۱۱-۷ دوتایی گرفتی و منحنی نور آن. صفحه مدار و خط دید تقریباً بر هم منطبق اند. در منحنی نور، روشنی یا قدر منظومه برحسب زمان رسم شده است. در این شکل ستارهٔ بزرگ‌تر، ستاره سردتر است. گرفت اصلی وقتی روی می‌دهد که ستارهٔ سردتر مانع ستارهٔ داغ‌تر شود. در گرفت فرعی ستارهٔ سردتر در پشت ستارهٔ داغ‌تر واقع است. *



به‌دست می‌آورند و نیز با مطالعهٔ طیف منظومه می‌توانند جرم ستاره‌های منظومه را برآورد کنند.

ستارهٔ معروف رأس‌الغول یا β- برساوش یک دوتایی گرفتی با دورهٔ تناوب دو روز و ۲۱ ساعت است.*

۷-۱۲ جرم ستاره‌های چگال

این روش تعیین جرم، قابل تطبیق به ستاره‌هایی است که گرانش سطحی آنها بسیار زیاد است. نیروی گرانش در چندین نوع ستاره، بسیار بزرگ است. یکی از آنها به کوتوله‌های سفید معروف است. گرانش سطحی زیاد در ستاره‌های کوتولهٔ سفید ناشی از چگالی‌های فوق‌العاده زیاد مادهٔ تشکیل دهندهٔ این ستاره‌ها است.

جرم کوتوله‌های سفید نسبتاً معمولی است (در حدود جِرم خورشید) ولی حجم آنها بسیار کوچک‌تر از حد معمول است (و از این رو «کوتوله» نام گرفته‌اند). قطر آنها فقط چند برابر قطر زمین است.

جرم این ستاره‌ها را می‌توان به کمک نظریهٔ نسبیت عام اینشتاین محاسبه کرد. بنابراین نظریه، طول‌موج نوری که از ستاره‌ای با جاذبهٔ گرانشی شدید سطحی گسیل می‌شود، دستخوش اندکی تغییر می‌شود. هر طول موج، اندکی زیاد می‌شود. این تغییر در طول‌موج خطوط طیفی را «انتقال نسبیتی» می‌نامند و معمولاً فوق‌العاده کوچک ولی قابل اندازه‌گیری است. مقادیر اندازه گرفته شده، در محاسبهٔ جرم ستاره‌هایی چون کوتوله‌های سفید به کار می‌روند.

۷-۱۳ چگالی‌ها

چگالی، طبق معمول، از تقسیم جرم بر حجم به دست می‌آید. این حاصل قسمت میزان تراکم مادهٔ تشکیل دهندهٔ ستاره را نشان می‌دهد.

ستاره‌ها از حیث چگالی، با هم تفاوت‌های زیادی دارند. این تفاوت‌ها عمدتاً به علت آن است که گسترهٔ مقدار حجم در آنها وسیع است.

حدود مقادیر چگالی ستاره‌ها، آدمی را متحیر می‌سازد. توله، ندیم شعرای یمانی، یکی از ستاره‌های بسیار چگال است. جرم آن برابر جرم خورشید، ولی حجم آن فقط $\frac{۱}{۳۰،۰۰۰}$ حجم خورشید است. چون چگالی متوسط خورشید ۱٫۵ برابر چگالی آب است، چگالی متوسط توله ۵۰،۰۰۰ برابر چگالی آب است. یک قاشق از این ماده، یک تن وزن دارد! و با این حال توله

چگال‌ترین ستارهٔ شناخته شده نیست.

چنان که خواهیم دید، در مرکز ستاره‌های نوترونی، چگالی 10^{14} تا 10^{15} برابر چگالی آب است. یک سانتیمتر مکعب آن جرمی برابر 10^{12} یا یک میلیون کیلوگرم خواهد داشت.

از سوی دیگر ستاره‌هایی هم وجود دارد که چگالی آنها $\frac{1}{1000}$ چگالی هوا است. چگالی آنها کمتر از چگالی خلاء معمولی قابل حصول در آزمایشگاه است. آنها را بیشتر اوقات «خلاء داغ سرخ» می‌نامند. بزرگ‌ترین ستارهٔ شناخته شده، ε (اپسیلون) - ممسک‌العنان به خاطر داشتن کمترین چگالی نیز متمایز است. مقداری که برای چگالی آن داده می‌شود $\frac{1}{100,000,000}$ چگالی آب است.

قسمت پنجم: حرکات ستارگان

۱۴-۷ مقدمه

اکنون دیگر همه می‌دانند که «ثوابت» حرکت می‌کنند و به سرعت‌های زیاد هم حرکت می‌کنند و این حرکات، در طول فرضاً یک قرن، شکل صورت‌های فلکی را اندکی تغییر می‌دهد. این که تاکنون این سرعت‌های زیاد ترتیب صورت‌های فلکی را بر هم نزده است، معلول فاصلهٔ زیاد ستارگان و نیز به علت زمان نسبتاً کوتاهی (در مقیاس نجومی) است که ستارگان تحت رصد منظم بوده‌اند.

اندازه‌گیری سرعت ستاره‌ها مستلزم دقت زیاد است و علاوه براین، حرکت ناظر هم آن را پیچیده‌تر می‌کند. نه تنها ستاره حرکت می‌کند، بلکه ناظر نیز در چندین حرکت شرکت می‌جوید: (آ) دوران روزانهٔ زمین به دور محورش؛ (ب) تغییرات مختصر در امتداد محور زمین؛ (پ) گردش سالانهٔ زمین بر گرد خورشید؛ (ت) حرکت خورشید و همهٔ منظومهٔ شمسی در فضا. این حرکت‌ها تغییرمکان‌هایی را در ستاره‌ها موجب می‌شوند که به «حرکات عام» موسوم اند، که البته هیچ ربطی به حرکت واقعی ستارگان ندارند.

سرعت واقعی یک ستاره که به سرعت فضایی موسوم است، از روی دو مؤلفهٔ آن حساب می‌شود: یکی که در امتداد خط دید است و سرعت شعاعی ستاره نامیده می‌شود؛ دیگری عمود بر خط دید است (حرکت عرضی) و به سرعت ظلی (مماسی) موسوم است.

۱۵-۷ سرعت شعاعی

مقدار این سرعت از روی طیف ستاره تعیین می‌شود. در محاسبهٔ آن از یک اصل بنیادی فیزیک موسوم به اصل دوپلر استفاده می‌شود که بنا بر آن طول‌موج‌های طیفِ چشمهٔ نوری که به ما نزدیک می‌شود، کوتاه می‌گردد. تغییر هر طول موج، که با $\Delta\lambda$ نمایش داده می‌شود، از فرمول

$$\Delta\lambda = \lambda \times \frac{v}{c}$$

به‌دست می‌آید. در این فرمول، λ طول موج اصلی نور، v سرعت نسبی نزدیک شدن و c سرعت نور است.

کمیات c و λ معلوم اند. تغییر طول‌موج را به آسانی می‌توان اندازه گرفت و سرعت نسبی نزدیک شدن را محاسبه کرد. همین فرمول را می‌توان در مورد دور شدن ستاره هم به کار برد، که در این مورد تغییر به سمت طول‌موج بلندتر است. خطوط طیف به جای آن که در جای عادی خود بر طیف باشند، در محل‌های جدیدی پدیدار می‌شوند. محل‌های جدید خطوط همگی به انتهای سرخ طیف نزدیک‌تر اند.

در این نوع کار عملاً از روش‌های عکسبرداری استفاده می‌شود. از دو طیف به طور همزمان بر یک صفحه عکاسی، یکی بالای دیگری، عکس گرفته می‌شود. طیف ستارهٔ مورد مطالعه در کنار طیف مقایسه که معمولاً طیف آهن است، قرار داده می‌شود. اگر ستاره هیچ سرعت شعاعی نداشته باشد، خطوط آهن طیف ستاره بر خطوط طیف مقایسه منطبق خواهند بود. ترتیب این خطوط در هر دو طیف، الگوی مشابهی خواهد داشت.

در مورد ستاره‌ای که دارای سرعت شعاعی باشد خطوط جابجا خواهند شد و مقدار این جابجایی $\Delta\lambda$، برای هر طول‌موج λ مستقیماً از روی عکس به‌دست می‌آید. این مقادیر چون در فرمول دوپلر گذاشته شوند سرعت شعاعی ستاره را به‌دست خواهندداد.

مسئلهٔ ۱۵-۷:

طول‌موج یکی از خطوط آهن در طیف مقایسه برابر ۵،۲۷۰ آنگستروم است. همان خط در طیف ستاره به اندازهٔ ۵۲۷ر۰ آنگستروم به سمت آبی تغییر مکان یافته است. سرعت نور 3×10^{5} کیلومتر در ثانیه است. سرعت شعاعی ستاره را به دست آورید.

راه حل:

$$\Delta\lambda = \lambda \times \frac{V}{c}$$

یا

$$V=\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\times c$$

$$=\frac{۰٫۵۲۷}{۵٫۲۷۰}\times ۳\times ۱۰^{۵}=۳۰\ \text{km/sec}$$

جواب: سرعت شعاعی ستاره km/sec ۳۰ است، ستاره با این سرعت به ما نزدیک می‌شود، زیرا تغییر مکان به سمت انتهای آبی طیف است.

بزرگ‌ترین سرعت شعاعی شناخته شده برابر ۵۴۷ کیلومتر در ثانیه، مربوط به ستارهٔ ۲۲۷۷ °۲۹-CD (ستارهٔ شمارهٔ ۲۲۷۷ از کاتالوگ کوردوبا با زاویهٔ میل S °۲۹) است.

۷-۱۶ سرعت ظلی (مماسی)

سرعت ظلی ستاره را حرکت عرضی آن نیز می‌گویند که اشارهٔ آن به سرعت ستاره در صفحه‌ای عمود بر خط دید است. معمولاً آن را بر حسب کیلومتر در ثانیه بیان می‌کنند.

سرعت ظلی را نمی‌توان به‌طور مستقیم به دست آورد. آن را از ضرب کردن سرعت زاویه‌ای ستاره در فاصلهٔ آن به‌دست می‌آورند. معمولاً سرعت زاویه‌ای را حرکت خاص می‌خوانند و مقادیر آن را بر حسب ثانیه قوس در سال بیان می‌کنند.

۷-۱۷ حرکت خاص

ستارهٔ بارنارد (که به افتخار کاشف آن ادوارد امرسن بارنارد[1] ۱۹۲۳-۱۸۵۷ نامیده شده است) بزرگ‌ترین حرکت خاص را در میان ستارگان دارد. این ستاره در حدود ۱۰٫۵ ثانیه قوس را در هر سال می‌پیماید و در ۱۸۰ سال به اندازهٔ ۰٫۵ درجه (قطر زاویه‌ای ماه) حرکت می‌کند. اکثر ستارگان به قدری دورند که حرکات خاص قابل سنجشی از خود بروز نمی‌دهند. از ۲۵،۰۰۰،۰۰۰ ستاره‌ای که تاکنون بررسی شده اند کمتر از $\frac{۱}{۲}$ یک درصد، قرائنی دال بر حرکت خاص نشان داده‌اند.

کار مطالعهٔ چنین تعداد زیادی ستاره، با استفاده از روش‌های عکس‌برداری همراه با نوعی میکروسکوپ موسوم به میکروسکوپ چشمک‌زن، بسیار

1- Edwad Emerson Barnard

ساده‌تر شده است. عکس‌هایی از نواحی وسیعی از آسمان به فواصل زمانی سی ساله گرفته می‌شود سپس دو عکس در میکروسکوپ چشمک‌زن مشاهده می‌شود. دستگاهی در میکروسکوپ وجود دارد که متناوباً و به سرعت یکی از عکس‌ها و سپس دیگری را روشن می‌کند. ستارگانی که در این سی سال به اندازهٔ ٦ ثانیهٔ قوس حرکت کرده باشند به نظر می‌رسد که چشمک می‌زنند. در حالی که دیگران پایدار می‌مانند.

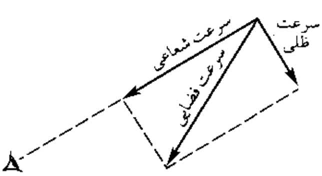
چنان که در بالا گفته شد، حاصل ضرب حرکت خاص در فاصلهٔ ستاره، مقدار سرعت ظلی ستاره را به دست می‌دهد.

۱۸-۷ سرعت ستاره در فضا

با دانستن مؤلفه‌های شعاعی و ظلی، یافتن سرعت فضایی واقعی ستاره آسان است. این سرعت برابر قطر مستطیلی است که سرعت‌های شعاعی و ظلی اضلاع آن‌اند. به شکل ۱۸-۷ نگاه کنید.

بیشترین سرعت فضایی شناخته شدهٔ یک ستاره، km/sec ٦٦٠ است.

شکل ۱۸-۷ سرعت فضایی. (آ) سرعت ستاره در امتداد خط دید، یعنی سرعت شعاعی به کمک فرمول دوپلر تعیین می‌شود. (ب) سرعت عمود بر خط دید از ضرب کردن سرعت زاویه‌ای ستاره در فاصلهٔ آن به دست می‌آید. سرعت واقعی ستاره در حرکتش در فضا با همان واحدها، به وسیلهٔ قطر مستطیلی داده می‌شود که اضلاعش سرعت‌های شعاعی و ظلی اند.



قسمت ششم: طیف ستارگان

۱۹-۷ گونه‌های طیفی

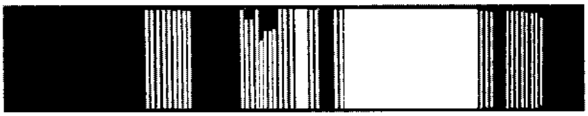
وقتی که طیف تعداد زیادی ستاره بررسی شود، معلوم می‌شود که آنها را می‌توان به‌طور طبیعی، در چند گونهٔ طیفی دسته‌بندی کرد. گونه‌بندی کنونی بر پایهٔ پژوهش وسیعی است که در رصدخانهٔ کالج هاروارد[1] انجام شد و در آن مطالعهٔ تطبیقی بیش از ۳۰۰،۰۰۰ ستاره انجام گرفت. ده گونهٔ متمایز تشخیص داده شده است که با حروف N, R, M, K, G, F, A, B, O و S نموده می‌شوند.

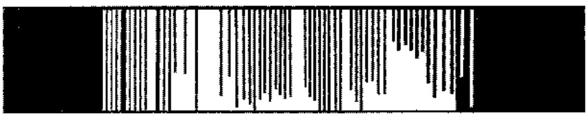
تقسیم بندی‌های فرعی هریک از این گونه‌ها نیز تشخیص داده شده است و علایمی چون B_2، K_5، G_8 و غیره برای آنها به کار می‌رود. K_5 مشخص کنندهٔ طیفی است که ویژگی‌های آن در حد فاصل K و M قرار دارد.

ستاره‌های شعرای یمانی و نسر واقع ستاره‌هایی از گونهٔ A اند، در حالی که ستارهٔ نسر طایر از گونهٔ A_5 است. طیف گونه A از ستاره‌های سفیدی گسیل می‌شود که دمای سطحی آنها به $12{,}000\ ^{\circ}K$ می‌رسد. مشخصات ستاره‌های

1- Harvard Observatory

گونهٔ A عبارت است از: (آ) خطوط تاریک بسیار قوی مربوط به ئیدروژن، (ب) نبودن خطوط هلیوم، (پ) تعداد کمی خط ضعیف مربوط به فلزات. به شکل ۱۹-۷ نگاه کنید.


شعرای یمانی A


عیوق G


ید الجوزا M

شکل ۱۹-۷ شعرای یمانی ستاره‌ای از گونهٔ A است. طیف‌هایی که از این ستاره‌ها گسیل می‌شود مشخصات زیر را دارد.
(آ) خطوط پهن ئیدروژن.
(ب) فقدان خطوط هلیوم.
(پ) تعداد بسیار کمی خط بسیار نازک مربوط به فلزات.
عیوق و خورشید ستاره‌هایی از گونهٔ G اند. طیفی که از این ستاره‌ها گسیل می‌شود دارای تعداد زیادی خط مربوط به آهن و فلزات دیگر است. دو خط مربوط به کلسیوم یونیده نیز کاملاً در آن‌ها متمایز است، در حالی که خطوط مربوط به ئیدروژن بسیارضعیف‌تر از این خطوط در ستاره‌های A است.
یدالجوزا ستاره‌ای از گونهٔ M است. خطوط دمای کم یعنی خطوط طیفی‌ای که به وسیلهٔ چشمه‌های نورکم دما ایجاد می‌شود، در این طیف برجسته است. خطوط دماهای زیاد، نظیر خطوطی که برای ایجادشان در آزمایشگاه به جرقه‌های الکتریکی دمای زیاد نیاز است، یا خیلی ضعیف اند و یا اصلاً وجود ندارند. نوارهای خطوط مربوط به اکسید تیتانیوم، به طور کامل در طیف ستاره‌های گونهٔ M وجود دارد.

گونه‌های دیگر نیز ویژگی‌های کاملاً مشخصی دارند. ویژگی‌های هر دسته را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

آ. خطوط هلیوم در گونه‌های O و B وجود دارد و در B_2 به حداکثر شدت خود می‌رسد و پیش از آن که به گونهٔ A برسیم محو می‌شود.

ب. ئیدروژن تنها عنصر موجود در هر ده گونه است. شدت خطوط آن در طیف‌های گونهٔ A از همه بیشتر است.

پ. خطوط فلزی دمای زیاد، نخست در گونهٔ A ظاهر می‌شوند و در گونهٔ G به حداکثر شدت خود می‌رسند (خورشید ستاره‌ای از گونهٔ G است).

ت. خطوط فلزی دمای کم در گونهٔ G ظاهر و در گونهٔ M کاملاً برجسته اند.

ث. نوارهای اکسید تیتانیوم در ستاره‌های گونهٔ M متمایز اند. (یدالجوزا و قلب‌العقرب ستاره‌های گونهٔ M اند).

ج. نوارهای پهن جذبیِ مربوط به کربن و ترکیبات کربن در طیف‌های گونهٔ N وجود دارند.

چ. ستاره‌های گونهٔ S را وجود نوارهای مربوط به اکسید زیرکونیم متمایز

می‌سازد.

۷-۲۰ گونه‌های طیفی و دمای سطحی ستارگان

یکی از کاربردهای ضمنی، ولی بسیار مهم این دسته‌بندی، تعیین دمای ستاره است. تغییر از یک گونه به گونهٔ دیگر تا حدود زیادی معلول دما در سطح ستاره است. به این ترتیب طیف گونهٔ M از ستاره‌هایی است که دمای سطحی آنها ۶،۰۰۰ $^{\circ}$K است؛ دمای سطحی در گونهٔ B، ۲۳،۰۰۰ $^{\circ}$K؛ در گونهٔ M، ۳،۲۰۰ $^{\circ}$K است، الی آخر. در حقیقت دمای سطحی هر ستاره به آسانی با نگاهی به طیف آن تعیین می‌شود - مقادیری که به این طریق به‌دست می‌آیند، برآوردهایی نسبتاً دقیق اند. رابطهٔ میان گونه‌های طیفی، دما و رنگ برای گونه‌های O تا M در جدول ۷-۲۰ آمده است.

جدول ۷-۲۰

گونهٔ طیفی	O	B	A	F	G	K	M
دما (بر حسب درجهٔ مطلق)	۲۵،۰۰۰	۲۳،۰۰۰	۱۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	۶،۰۰۰	۵،۰۰۰	۳،۲۰۰
رنگ	آبی	سفیدمتمایل به آبی	سفید	سفیدمتمایل به زرد	زرد	نارنجی	سرخ

قسمت هفتم: نمودار هرتسپرونگ - راسل

۷-۲۱ مقدمه

در یک شب صاف، در حدود ۵،۰۰۰ ستاره را با چشم برهنه می‌توان دید؛ با تلسکوپی کوچک میلیون‌ها ستاره و با تلسکوپ کوه پالومار بیلیون‌ها ستاره به چشم می‌آیند. تعداد ستاره‌های کهکشان ما به تنهایی نزدیک به یکصد بیلیون برآورد شده است و احتمالاً بیش از ۱۰ بیلیون کهکشان در جهان وجود دارد.

طبیعی است که این مطالب سؤال‌های زیر را برانگیزند:

آیا بر این انبوه ستارگان، اصل سازمان‌دهنده‌ای نظارت دارد؟ آیا ستارگان را نیز چون گل‌ها، پرندگان و آدمیان می‌توان به گونه‌هایی تقسیم کرد که هرگونه مشخصات خاص خود را داشته باشد و آیا ستارگان نیز چون آدمیان زاده می‌شوند، نوباوگی و بلوغ را پشت سر می‌گذارند، پیر می‌شوند و سرانجام

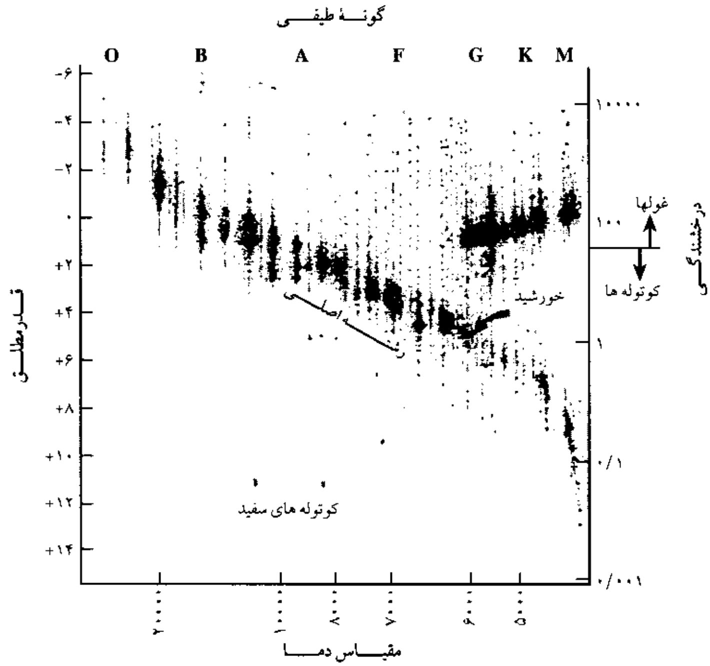
می‌میرند؟ آیا می‌توان سرگذشتی موثق از زندگی یک ستاره را رقم زد؟

پاسخ معقولی به دو پرسش آخر را شاید بتوان از نموداری موسوم نمودار هرتسپرونگ- راسل به دست آورد. این نمودار در اوایل قرن بیستم مستقلاً به توسط اینار هرتسپرونگ[1] (۱۹۶۷-۱۸۷۳) منجم دانمارکی و هنری ن. راسل[2] (۱۹۵۷-۱۸۷۷) منجم آمریکایی رسم شد.

ما در زیر این نمودار را که به نمودار HR نیز معروف است مطالعه خواهیم کرد و رابطهٔ آن را با تاریخ زندگی ستارگان خواهیم دید.

۷-۲۲ نمودار هرتسپرونگ-راسل

در نمودار هرتسپرونگ- راسل (به شکل ۲۲-۷ نگاه کنید) محور عمودی بر حسب قدر مطلق و یا درخشندگی و محور افقی بر حسب دما یا گونهٔ طیفی، درجه‌بندی شده است (آن را برحسب رنگ نیز می‌توان درجه‌بندی کرد). معنی قدر مطلق و درخشندگی در زیر توضیح داده خواهد شد و به دنبال آن بحثی در طرح خود نمودار خواهد آمد.



شکل ۲۲-۷ نمودار HR برای ستارگان نزدیک. بر یک نمودار کامل چندین هزار نقطه قرار دارد. هر نقطه درخشندگی و طیف یک ستاره را نشان می‌دهد. بر محور عمودی مقادیر قدر مطلق را می‌توان به جای درخشندگی به کار برد همین طور به جای دمای ستاره (بر حسب K) می‌توان گونهٔ طیفی آن را بر محور افقی نوشت.
نقطه‌ای که خورشید را نشان می‌دهد در شکل مشخص شده است. خورشید از قدر مطلق ۴٫۸ و از گونهٔ طیفی G است.
ستاره‌هایی که پرنورتر از قدر مطلق ۱+ اند تحت عنوان غول طبقه‌بندی می‌شوند، همهٔ ستارگان دیگر کوتوله نامیده می‌شوند.

قدر مطلق. قدر ظاهری یک ستاره هم به روشنی ذاتی و هم به فاصلهٔ آن بستگی دارد. برای آن که بتوان روشنی ذاتی ستارگان مختلف را با هم سنجید

1- Ejnar Herzsprung 2- Henry N. Russel

لازم است که بستگی به فاصله را از میان برداشت. مفهوم قدر مطلق درست همین کار را می‌کند. در این مفهوم فرض می‌شود که همهٔ ستاره‌ها از مکان واقعی خود به محل جدیدی تغییر مکان یافته باشند که درست ۱۰ پارسک از ناظر زمینی فاصله دارد.

طبیعی است ستاره‌هایی که به سمت ناظر زمینی آورده شوند، پرنورتر و ستاره‌هایی که از ناظر به خط ۱۰ پارسکی «برده» شوند کم‌فروغ‌تر از اول به نظر خواهند رسید. اکثر ستاره‌ها بیش از ۱۰ پارسک از ما فاصله دارند؛ ولی خورشید با قدر ظاهری ۲۶٫۷- چون به فاصله ۱۰ پارسکی برده شود قدر مطلقی برابر ۴٫۸+ خواهد داشت. در این صورت چون ستاره‌ای کم‌سو به چشم خواهد آمد و به چشم ناظرانی که دیدشان از دید متوسط ضعیف‌تر است، نامرئی خواهد بود.

نمادی که برای قدر مطلق به کار می‌رود M است، در حالی که معمولاً m را برای مشخص کردن قدر ظاهری یک ستاره به کار می‌برند.

درخشندگی. به طوری که در بخش ۹-۷ اشاره شد یکی از تعریف‌های درخشندگی، کل برون‌داد انرژی یک ستاره در واحد زمان، یعنی توان برون‌داد کل آن است.

در مورد خورشید توان برون‌داد کل $3{,}9 \times 10^{33}$ erg/sec است، یعنی در هر ثانیه $3{,}9 \times 10^{33}$ ارگ انرژی از سطح خورشید به فضا گسیل می‌شود.

درخشندگی ستاره‌ها را معمولاً بر حسب مضرب یا کسری از توان برون‌داد خورشید بیان می‌کنند. توان برون‌داد کل ستارهٔ شعرای یمانی ۲۷ بار بیشتر از خورشید است. بنابراین درخشندگی شعرای یمانی ۲۷ است (هرگاه درخشندگی خورشید مساوی یک باشد).

نمادی که برای درخشندگی به کار می‌رود L است.

گوشزد ۱. باید توجه داشت که درخشندگی و قدر مطلق به هم مرتبط اند. بنابراین اگر یکی را بدانیم، از روی نمودار یا به‌کمک فرمول می‌توان دیگری را به دست آورد. این فرمول عبارت است از:

$$M = ۴٫۸ + ۲٫۵ \log \frac{1}{L}$$

که در آن M قدر مطلق ستاره و L درخشندگی آن نسبت به خورشید است.

مسئله ۲۲-۷:

قدر مطلق نسر واقع را به‌دست آورید، هرگاه درخشندگی آن ۵۰ باشد.

$$M = ۴ر۸ + ۲ر۵ \log \frac{۱}{۵۰}$$

با به‌کار بردن قواعد مربوط به لگاریتم، می‌توان نوشت:

$$M = ۴ر۸ - ۲ر۵ \log ۵۰$$
$$= ۴ر۸ - ۲ر۵ \times ۱ر۷ = +۰ر۶$$

جواب: قدر مطلق نسر واقع ۰ر۶+ است.

گوشزد ۲. باید تذکر داد که روشنی ستارگان را به صورت‌های گوناگون می‌توان بیان کرد. اغلب اوقات سه معیار زیر به‌کار می‌رود: (آ) قدر ظاهری، (ب) قدر مطلق و (پ) درخشندگی. مقادیر این سه‌کمیت برای ۵ ستاره‌ای که به چشم ما از همه پرنورتر می‌آیند در جدول زیر داده شده است.

ستاره	قدر ظاهری	قدر مطلق	درخشندگی (خورشید=۱)
شعرای یمانی	-۱ر۵۸	+۱ر۳	۳۰
سهیل	-۰ر۸۶	-۳ر۲	۱،۹۰۰
α (آلفا)- قنطورس	+۰ر۰۶	+۴ر۷	۱ر۳
نسر واقع	+۰ر۰۳	+۰ر۶	۶۰
عیوق	+۰ر۲۱	-۰ر۴	۱۵۰

این جدول نشان می‌دهد که اگر همهٔ این ستاره‌ها را به فاصلهٔ ده پارسکی ببریم (تا قدر مطلق را به‌دست آوریم)، سهیل به مراتب از دیگران پرنورتر خواهد بود. به علاوه، این جدول نشان می‌دهد که نسر واقع دو بار و عیوق پنج بار از شعرای یمانی درخشان‌تر است.

در نمودار HR هر ستاره با نقطه‌ای نموده می‌شود. مکان این نقطه را درخشندگی ستاره و گونهٔ طیفی آن مشخص می‌کند. رسم دقیق نقاط مربوط به ستاره‌هایی که در همسایگی منظومهٔ شمسی قرار دارند دو ویژگی بسیار مهم نمودار شکل ۲۲-۷ را متمایز می‌سازد.

آ. اکثریت عظیم ستارگان در رشتهٔ باریکی جای می‌گیرند که از گوشهٔ چپ و بالای نمودار به گوشه راست و پایین نمودار کشیده شده است. این را رشتهٔ اصلی نامند و ستارگانی که به آن تعلق دارند، از جمله خورشید ما، به ستارگان رشتهٔ اصلی موسوم اند.

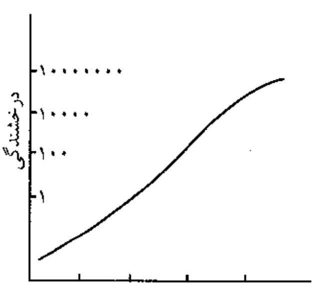
ب. نظم متمایز رشتهٔ اصلی را دو استثناء بسیار مهم برهم می‌زند. نقاط مربوط به دو نوع ستارهٔ مشخص، بیرون رشتهٔ اصلی قرار می‌گیرند. یک دسته از نقاط در سمت راست و بالای نمودار پراکنده شده‌اند. درخشندگی این ستارگان بسیار زیاد ولی دمای آنان کم است و به غول‌های سرخ موسوم اند. (ستارهٔ عیوق به این دسته تعلق دارد.) گروه دیگر نقاطی اند که به دور از رشتهٔ اصلی و در ناحیهٔ کوچکی در سمت چپ و پایین نمودار مجتمع اند. اینها ستاره‌هایی اند با درخشندگی اندک و دمای سطحی زیاد. اینها را به‌درستی کوتوله‌های سفید نامیده اند. توله (ندیم شعرای یمانی) مثال کلاسیک کوتوله‌های سفید است.

۷-۲۳ ستارگان رشتهٔ اصلی

این واقعیت که ستارگان رشتهٔ اصلی تنها در نوار باریکی جای دارند و به طرزی نامنظم در سراسر نمودار پخش نشده‌اند، از رابطهٔ نزدیک میان آنها حکایت می‌کند. از قرار معلوم ستاره‌های این رشته از لحاظ برخی مشخصات شبیه یکدیگر اند. پراکندگی آنها در طول رشته به احتمال زیاد ناشی از تفاوت جرم آنها است، هرچه جرم ستاره بیشتر باشد، درخشنده‌تر است.

شکل ۷-۲۳ قانون جرم- درخشندگی. درخشندگی زیاد یک ستاره با جرم زیاد آن متناظر است. اعداد واقع بر مقیاس افقی بر حسب جرم خورشید اند (مثلاً ۵ به معنی ۵ برابر جرم خورشید است) و اعداد واقع بر مقیاس عمودی بر حسب درخشندگی خورشید (مثلاً ۱۰۰ به معنی ۱۰۰ برابر درخشنده‌تر از خورشید).

درخشندگی مقدار کل نوری را که از ستاره به فضا گسیل می‌شود مشخص می‌کند.



گوشزد: جرم ستاره رابطهٔ نزدیکی با درخشندگی آن دارد. رابطهٔ میان این دو کمیت را می‌توان از ملاحظات صرفاً نظری به‌دست آورد. شکل ۷-۲۳ این رابطه را به صورت نمودار نشان می‌دهد. این رابطه به نام *قانون جرم- درخشندگی* موسوم است. بنابراین *هرچه جرم ستاره‌ای بیشتر باشد، درخشنده‌تر خواهد بود.*

ستاره‌هایی که درخشندگی آنها زیاد است و قسمت بالایی نمودار HR را اشغال می‌کنند به *غول‌ها* موسوم اند. ستارگانی که درخشندگی آنها کم است کوتوله‌ها نامیده می‌شوند. حد فاصل غول‌ها از کوتوله‌ها را در بعضی مواقع قدر مطلق معین می‌کند. ستاره‌هایی که از قدر مطلق ۱+ روشن‌تر اند غول اند؛ آنها که از قدر مطلق ۱+ کم‌سوتر اند (یعنی از قدرهای ۲+، ۳+ الی آخر) کوتوله نام دارند. رشتهٔ اصلی تمام دامنه را، از غول‌های آبی تا کوتوله‌های سرخ شامل است.

در فصل ۹ خواهیم دید که ستارگان رشتهٔ اصلی ستاره‌های بالغ اند که از طریق واکنش گرما- هسته‌ای به تولید انرژی می‌پردازند. همچنین خواهیم دید که همهٔ ستاره‌ها قسمت اعظم عمر خود را بر رشتهٔ اصلی می‌گذرانند.

۷-۲۴ ستاره‌های بیرون از رشتهٔ اصلی

در نمودار هرتسپرونگ- راسل، بیرون از رشتهٔ اصلی، هم غول‌های سرخ و اَبَرغول‌های سرخ بسیار بزرگ را می‌بینیم و هم کوتوله‌های سفید را.

غول‌های سرخ و به ویژه اَبَرغول‌های سرخ، فوق‌العاده بزرگ اند. برخی از این ستاره‌ها به قدری بزرگ اند که بخش اعظم منظومهٔ شمسی را در خود جای می‌دهند. جرم بعضی از آنها فقط پنج یا ده برابر جرم خورشید است و حجم عظیم آنها حاکی از چگالی فوق‌العاده کم آنها است. ستارهٔ سماک رامح غولی سرخ شمرده می‌شود، در حالی که قلب‌العقرب نمونهٔ یک ابرغول سرخ است. دمای این ستاره‌ها تقریباً $۲,۰۰۰\ ^\circ K$ است. قسمت اعظم اشعه‌ای که از آنها گسیل می‌شود، سرخ و فروسرخ است. در فصل ۹ خواهیم دید که این ستاره‌ها «ایام کهولت» خود را می‌گذرانند و بیشتر سوخت لازم برای واکنش‌های گرما- هسته‌ای را به مصرف رسانده‌اند و از رشتهٔ اصلی منحرف شده‌اند.

کوتوله‌های سفید از حیث رنگ شبیه ستاره‌های گونهٔ طیفی A اند؛ اما درخشندگی آنها فوق‌العاده کم است. درخشندگی بسیاری از کوتوله‌های سفید کمتر از $\frac{۱}{۱۰۰,۰۰۰}$ درخشندگی یک ستارهٔ معمولی گونهٔ A است. این امر به دلیل کم بودن جرم آنها نیست، چرا که از لحاظ جرم کاملاً با خورشید قابل قیاس اند. درخشندگی اندک آنها معلول اندازهٔ کوچک آنهاست. طبیعی است ستاره‌هایی که جرم‌شان متوسط و حجم‌شان کم باشد، چگالی‌شان بسیار زیاد است. قبلاً در ملاحظات مربوط به تغییرمکان سرخ نور این ستارگان به این چگالی‌های زیاد اشاره کردیم. در آنجا گفتیم که یک قاشق از مادهٔ یک کوتولهٔ سفید، چند تن وزن دارد.

از لحاظ نظری، حدی برای جرم کوتولهٔ سفید وجود دارد. هیچ کوتولهٔ سفیدی نمی‌تواند جرمی بیش از ۱٫۲ برابر جرم خورشید داشته باشد.

نظریه همچنین از رابطه‌ای میان جرم کوتوله و قطر آن حکایت می‌کند؛ بدین معنی که هرچه جرم بیشتر باشد قطر کمتر است.

تاکنون صدها کوتولهٔ سفید شناخته شده است. تعداد آنها بی‌شک بسیار بیشتر از آن است که تاکنون رصد شده است ولی درخشندگی اندک آنها موجب می‌شود که از فواصل زیاد، مرئی نباشند.

در فصل ۹ اشاره خواهد شد که مرحلهٔ کوتوله سفید یکی از آخرین مراحل تکامل عادی یک ستاره است.

۷-۲۵ ستارگان متغیر

ستارگان رشتهٔ اصلی اجرامی پایدار اند. جرم‌های آنها و در نتیجه درخشندگی‌های آنها، حتی با گذشت میلیون‌ها سال تغییر چندانی نمی‌کند. کوتوله‌های سفید و برخی از غول‌های سرخ و ابرغول‌های سرخ نیز چنین اند.

ولی تعداد نسبتاً زیادی ستاره نیز وجود دارد که روشنی ذاتی و مشخصات طیفی آنها با زمان تغییر می‌کند.

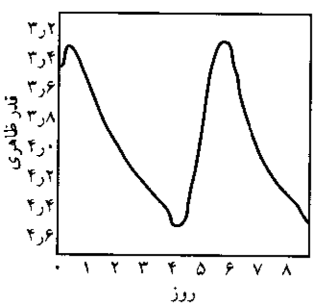
تغییرات روشنی ذاتی در بعضی موارد معلول تپش ستاره (ستاره متناوباً باد می‌کند و سپس کوچک می‌شود) و در موارد دیگر بر اثر وقوع انفجار است (ستاره بخشی از جرم خود را به فضا پرتاب می‌کند).

ستاره‌های تپنده بر چندین گروه مشتمل می‌شوند: قیفاوسی‌های I، قیفاوسی‌های II، متغیرهای RR- شلیاقی و متغیرهای درازدوره.

۷-۲۶ قیفاوسی‌ها

قیفاوسی نوعی ستاره است که روشنی آن به طور متناوب تغییر می‌کند. در یک قیفاوسی نمونه، روشنی در آغاز دورهٔ تناوب، به سرعت بسیار به مدت چند ساعت زیاد می‌شود. سپس تا چندین روز به تدریج کم‌فروغ‌تر می‌شود. سپس همین سیکل تکرار می‌گردد. به شکل (آ) ۲۶-۷ نگاه کنید. قیفاوسی‌ها در تغییرات خود بسیار وقت‌شناس و منظم اند. تغییر روشنی از می‌نیموم به ماکزیموم معمولاً چندان زیاد نیست، تغییری معادل یک قدر مثلاً از ۳ر۵ به ۳ر۴ تقریباً مقدار نمونه خوبی است.

شکل (آ)۲۶-۷ تغییرات قدر ظاهری δ (دلتا)- قیفاوس نشان داده شده است. روشنی ماکزیموم این قیفاوسی بخصوص ۳ر۳ است. در کم‌سوترین حالت قدر ظاهری آن ۵ر۴است. سیکل کامل هر ۵ روز و هشت ساعت تکرار می‌شود.



نخستین قیفاوسی شناخته شده، ستارهٔ δ در صورت فلکی قیفاوس است و وجه تسمیهٔ این ستارگان نیز همین است. از کشف نخستین قیفاوسی در ۱۸۷۴ تاکنون صدها ستارهٔ مشابه کشف شده‌اند. این ستاره‌ها ابرغول‌های درخشانی از گونهٔ طیفی F و G اند.

نامگذاری قیفاوسی‌ها و ستارگان متغیر دیگر مطابق قاعدهٔ ثابتی انجام می‌شود: به نخستین ستارهٔ متغیر هر صورت فلکی پیشوند R داده‌می‌شود(مثلاً R-اسد) و به دومین ستاره پیشوند S؛ پس از Z پیشوندهای RR, RS, RT الی‌آخر می‌آید و پس از RZ, SS, ST الی‌آخر. در این دستور پس از ZZ پیشوندهای AA تا QZ بر نام صورت فلکی افزوده می‌شود. از آنجایی که هیچ ترکیبی با حرف J ساخته نمی‌شود، این دستور، نامگذاری ۳۳۴ متغیر را در هر صورت میسر می‌سازد. ستارگان متغیر اضافی با دستور بسیار ساده‌تری مشخص می‌شوند: V۳۳۵، V۳۳۶ و الی آخر مانند V۳۳۷ دجاجه.

دورهٔ تناوب قیفاوسی‌ها (یا مدت زمان بین دو روشنی ماکزیموم متوالی) از مقدار کوچک ۱ ساعت و ۲۸ دقیقه برای CY- دلو تا ۴۵ روز و ۴ ساعت برای SV- روباهک تغییر می‌کند.

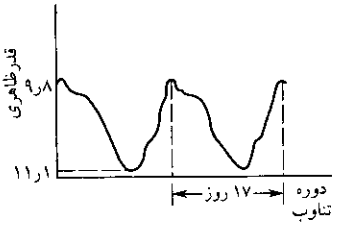
تحقیقات بعدی نشان داده است که در حقیقت سه نوع قیفاوسی وجود دارد. این سه عبارتند از: قیفاوسی‌های I، قیفاوسی‌های II و متغیرهای RR شلیاقی.

ستارگان قیفاوسی I (یا کلاسیک) به طور متوسط ۵ر۱ قدر روشن‌تر از قیفاوسی‌های II اند. نور آنها به سرعت زیاد می‌شود و نسبتاً به تدریج از فروغشان کاسته می‌شود. به شکل (آ) ۲۶-۷ نگاه کنید. دورهٔ تناوب آنها بین ۵ر۱ و ۱۰۰ روز و در بیشتر مواقع ۵ روز است.

در منحنی‌های مربوط به قیفاوسی‌های II مشخصاً نواحی مسطحی، هم در بخش افزایش نور و هم در قسمت کاهش نور، وجود دارد. به شکل (ب) ۲-۷ نگاه کنید. دورهٔ تناوب آنها از ۱۰ تا ۲۵ روز است.

* قیفاوسی‌های II که در خوشه‌های کروی هالهٔ کهکشان و در مرکز کهکشان دیده می‌شوند، ستاره‌های غول یا ابرغول اند. *

شکل (ب)۲٦-۷ نمونهٔ منحنی نور یک ستارهٔ قیفاوسی II. نه قسمت افزایش نور و نه بخش کاهش نور آن هیچ کدام هموار نیستند. وجود نواحی مسطحی در هر دو قسمت، از مشخصات آن‌ها است. اعداد داده شده مربوط به ستارهٔ W- سنبله است.



۲۷-۷ دورهٔ تناوب قیفاوسی‌ها و قدر مطلق آنها

رابطهٔ جالب توجهی میان دورهٔ تناوب یک قیفاوسی و قدر مطلق آن کشف شده است. سابقهٔ این کشف به تحقیقات خانم هنریتا لیویت [1] از رصدخانهٔ کالج هاروارد در بارهٔ ستارگان قیفاوسی ابر کوچک ماژلان، در ۱۹۰۸ می‌رسد. ابر کوچک ماژلان و نیز ابر بزرگ ماژلان در حقیقت کهکشان‌هایی در همسایگی نزدیک کهکشان ما اند.

این ابرها که نام دریانورد پرتقالی برآنها نهاده شده است، به چشم برهنه چون دو لکهٔ کم‌سوی نور می‌آیند. آنها را از ایران نمی‌توان دید زیرا ۲۰ درجه با قطب جنوب آسمان فاصله دارند.

اهمیت کشفی که به توسط خانم لیویت انجام شد در این است که قدر مطلق همهٔ ستارگان قیفاوسی که دورهٔ تناوب واحدی دارند، یکی است. ستاره‌هایی که دورهٔ تناوب‌شان بلند است قدر مطلق‌شان زیاد است؛ ستاره‌های کوتاه دوره نیز قدر مطلق‌شان کم است.

معنی این مطلب این است که برای به‌دست آوردن قدر مطلق یک ستاره (که معمولاً کار دشواری است) تنها باید دورهٔ تناوب آن را اندازه گرفت (که

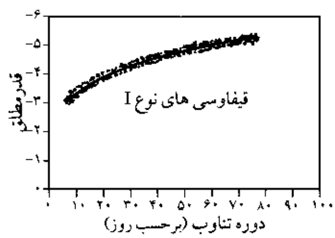
1- Henrietta leavet

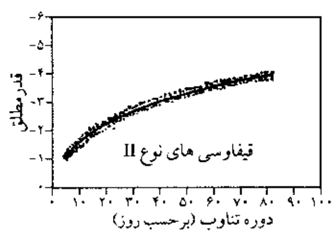
کاری نسبتاً آسان است).

بهترین راه نشان دادن این رابطه، به صورت یک نمودار است. یک نمودار برای هریک از انواع قیفاوسی‌ها، که در آن قدرهای مطلق بر محور قائم و دورهٔ تناوب بر محور افقی رسم شده است. به شکل ۷-۲۷ نگاه کنید.

گوشزد: در مورد ستاره‌هایی که روشنی آنها متغیر است، میانگین مقادیر ماکزیموم و می‌نیموم به عنوان قدر اختیار می‌شود.

شکل ۷-۲۷ دو منحنی قدر مطلق بر حسب دورهٔ تناوب. منحنی‌ای که قدر مطلق یک قیفاوسی نوع I را به دورهٔ تناوب آن ربط می‌دهد شبیه منحنی مربوط به قیفاوسی نوع II است. تفاوت دو منحنی از لحاظ روشنی است. یک قیفاوسی I، به ازاء یک دورهٔ تناوب معین چهار مرتبه روشن‌تر از یک قیفاوسی II است. این مطلب را به این طریق نیز می‌توان گفت که قدر مطلق ستاره‌های قیفاوسی II ، ۵ر ۱ مرتبه کمتر از آن ستارگان قیفاوسی II است که همان دورهٔ تناوب را دارند.





۷-۲۸ روش غیرمستقیم اندازه‌گیری فواصل ستاره‌ای

یکی از فرمول‌های اساسی نجوم، قدر ظاهری (m)، قدر مطلق (M) و فاصله (D_{ps}، فاصله بر حسب پارسک) را به یکدیگر مربوط می‌سازد. هر گاه دو تا از این سه کمیت معلوم باشد، سومی را می‌توان معین کرد. این فرمول عبارت است از:

$$M= m+5-5\log D_{ps}$$

این فرمول را می‌توان به صورت زیر هم نوشت:

$$\log D_{ps}=\frac{1}{5}(m-M)+1$$

مسئله ۷-۲۸:

اگر ٦ر ٠ = M و ۱۴ر ٠ = m باشد، فاصله را پیدا کنید.

جواب:

با قرار دادن این مقادیر در فرمول به‌دست می‌آید:

$$\frac{1}{5}(۱۴ر ٠-٦٠ر ٠)+۱ = ۹۱ر ٠$$

و از روی جدول لگاریتم به پایه ۱۰، مقدار D_{ps} = ۸ر ۱ به‌دست می‌آید.

در مورد ستاره‌های قیفاوسی ما m و M هر دو را می‌دانیم. اولی با میانگین گرفتن از قدر ظاهری ستاره و دومی از روی دورهٔ تناوب مشاهده شده و استفاده از منحنی دورهٔ تناوب- قدر مطلق مربوطه به دست می‌آید. بنابراین می‌توان فاصلهٔ یک قیفاوسی یا گروهی از ستاره‌ها را که بر حسب اتفاق این قیفاوسی همراه آنها است به دست آورد.

۷-۲۹ ستاره‌های متغیر RR- شلیاقی

این ستاره‌ها، قیفاوسی‌هایی اند با دورهٔ تناوب بسیار کوتاه. طولانی‌ترین دورهٔ تناوب شناخته شده در میان آنها ۲۹ ساعت و کوتاه‌ترین دوره کمتر از یک ساعت و نیم است. نخستین ستاره‌ای که از این نوع کشف شد، ستارهٔ قدر هفتمی بود در صورت فلکی شلیاق که وجه تسمیهٔ این ستارگان از آن است. قبلاً این قیفاوسی‌ها به «قیفاوسی‌های نوع خوشه‌ای» موسوم بودند، زیرا نخستین بار در خوشه‌های ستاره‌ای کروی، کشف شدند. امروزه این نام مهجور است، زیرا معلوم شده است که در همه جای آسمان وجود دارند. در حدود ۳۰۰۰ ستاره از این نوع شناخته شده است. این ستاره‌ها پنجاه بار درخشنده‌تر از خورشید و از گونهٔ طیفی A یا F اند.

۷-۳۰ روش غیرمستقیم دیگری برای اندازه‌گیری فواصل

مطالعات متغیرهای RR- شلیاقی حاکی از آن است که این ستاره‌ها جملگی قدر مطلقی (M) نزدیک به ۶ر۰+ دارند.

بابررسی استفاده از این مقدار و قدر ظاهری متوسط مشاهده شده (m) می‌توان فاصله را بر حسب پارسک (D_{ps}) از رابطهٔ

$$log\ D_{ps}=\frac{۱}{۵}(m - M)+۱$$

به دست آورد. این، فاصلهٔ ستاره یا گروهی از ستاره‌ها است که برحسب تصادف ستاره RR- شلیاقی در آن قرار دارد.

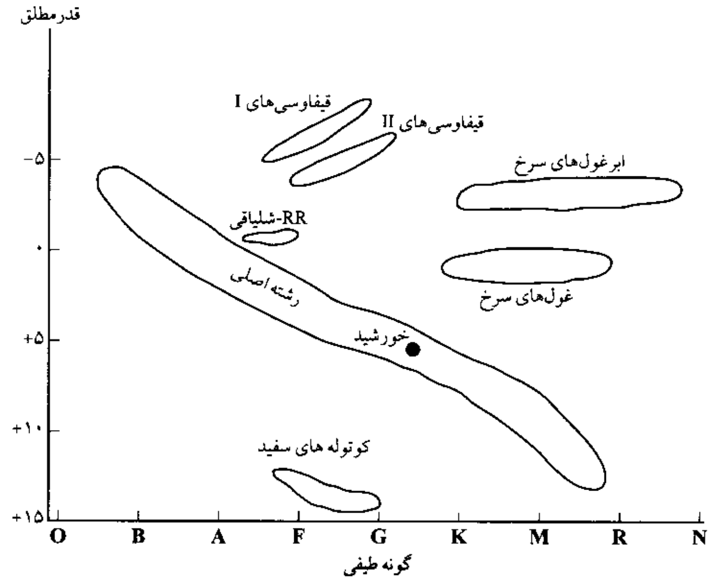
۷-۳۱ متغیرهای دراز دوره

این متغیرها معمولاً غول‌های سرخی اند که دورهٔ تناوب‌شان بیش از ۱۰۰ روز است. تغییرات نور در آنها به منظمی ستارگان متغیر دیگر نیست. مشهورترین متغیر درازدوره بدون شک o (امیکرون)- قیطس است. این ستاره در ۱۵۹۶ کشف شد و دیری نگذشت که میرا، یعنی شگفت‌انگیز، نامیده شد. میرا به هنگام حداکثر روشنی، به قدر ظاهری ۵ر۱ می‌رسد؛ در این هنگام پرنورترین ستارهٔ آن قسمت از آسمان است. در موقع حداقل روشنی، قدر آن در حدود ۹+، و به چشم برهنه نامرئی است. دورهٔ تناوب متوسط آن ۳۳۰ روز است. دوره‌های تناوب گاه از ۳۰۰ روز کمتر و گاه از ۳۵۰ روز بیشتر می‌شود.

۷-۳۲ جای قیفاوسی‌ها بر نمودار هرتسپرونگ- راسل

شکل ۷-۳۲ مکان تقریبی سه نوع قیفاوسی را نشان می‌دهد. این ناحیه‌ها به

نوارهای ناپایداری معروف‌اند. ستاره‌ها در مسیر خود بر این نمودار، وقتی به این نواحی می‌رسند، به گونه‌ای ناپایدار می‌شوند و می‌تپند.



شکل ۳۲-۷ مکان تقریبی ستاره‌های قیفاوسی I و قیفاوسی II و RR- شلیاقی بر نمودار هرتسپرونگ- راسل.

۳۳-۷ نواختران

گهگاه ستاره‌ای به‌ناگهان از تاریکی نسبی به در می‌آید و روشنی بسیار می‌یابد و سپس اندک اندک به تاریکی باز می‌گردد. چنین ستاره‌ای نو اختر نامیده می‌شود. صفت «نو»، صفت درستی نیست زیرا ستاره، ستاره‌ای نو نیست. بلکه افزایش روشنی ظاهری‌اش، تازه است.

مطالعهٔ طیف‌نمودی دقیق نواختر نشان می‌دهد که این ستاره، بی‌کم و کاست، «پوستهٔ بیرونیش» را می‌ترکاند. ستاره ناگهان تمامی لایهٔ بیرونی خود را، که پوستهٔ منبسط شونده‌ای گرداگرد ستاره است، می‌اندازد. بخش اعظم این افزایش روشنی در نتیجهٔ سطح وسیعی است که با این لایه آشکار می‌شود. پس از مدتی، ماده پرتاب شده، که همچنان در حال انبساط است، به قدری رقیق می‌شود که دیگر نمی‌درخشد.

از مرحلهٔ پیش از نواختری این ستارگان منفجر شونده اطلاع کمی داریم. نخستین نواختری که تاریخچهٔ نسبتاً کامل آن وجود دارد، نواختر صورت فلکی عقاب است. طیف این نواختر پیش از آن که در سال ۱۹۱۸ منفجر شود، شناخته شده بود. این ستاره یک ستارهٔ رشته اصلی است. هم از نظر

درخشندگی و هم از حیث مشخصات طیفی، کم و بیش شبیه خورشید است. در این طیف‌ها هیچ بی‌نظمی و اختلالی را نمی‌توان سراغ کرد حاکی از آن که ستاره‌ای ظاهراً عادی مانند خورشید، ممکن است به طرزی نامنتظر دستخوش انفجاری مهیب شود.

احتمال وقوع چنین رویدادی فوق‌العاده کم است. محاسبات نشان می‌دهد که احتمال وقوع چنین فاجعه‌ای برای خورشید (که البته در فاصلهٔ چند روز به حیات در سطح زمین خاتمه خواهد داد) بی‌اندازه اندک - یک در چندین بیلیون - است.

احتمال از این هم کمتر است، زیرا وقوع چنین انفجارهایی در ستاره‌های سفید داغ، که طیف آنها از گونهٔ O و A است، بسی محتمل‌تر از ستارگان زردرنگِ سردِ نسبتاً «کم جرم» از گونه G نظیر خورشید است و نیز این انفجار، به احتمال زیاد، در «اواخر عمر» ستاره - در مورد خورشید حدود ۵ بیلیون سال دیگر روی می‌دهد.

در طول تاریخ مدون، بیش از ۲۰۰ نواختر در کهکشان ما مشاهده شده است. در حال حاضر، با روش‌های رصدی پیشرفته، یک یا دو نواختر هر ساله کشف می‌شود، حال آن که احتمالاً بسیاری دیگر از زیر چشم رد می‌شود.

منحنی تقریبی نور یک نواختر مشخصات زیر را دارد: (آ) افزایش تقریباً سریع درخشندگی به میزان ۱۰،۰۰۰ برابر مرحلهٔ پیش از نواختری، (ب) وقفه‌ای کوتاه که به دنبال آن روشنی ده برابر افزایش می‌یابد؛ (پ) کاهش روشنی به حد مرحلهٔ پیش از نواختری. شکل این کاهش بسته به نواختر فرق می‌کند. به شکل ۳۳-۷ نگاه کنید.

افزایش اولیه به فاصلهٔ چند روز خاتمه پیدا می‌کند. نزول نهایی ممکن است چندین سال ادامه یابد. قدر ظاهری بعضی از نواختران به قدری است که در روشنی روز هم دیده می‌شوند. نواختران دیگر فقط با تلسکوپ قابل رؤیت اند.

وقتی نواختری به مرحلهٔ پیش از نواختری برمی‌گردد، درخشندگی پیشین خود را باز می‌یابد. ظاهراً صدمه‌ای دایمی وارد نیامده است. کاهش جرم، کم است و کسر ناچیزی از جرم ستاره برآورد می‌شود.

یکی از توضیحاتی که دربارهٔ نواختران داده می‌شود این است که این نوع خاص از ستارگان، در مرحله‌ای از تکامل خود بیش از آنچه می‌توانند تابش کنند، انرژی تولید می‌کنند. ستاره با دفع لایه‌ای نازک به فضا، خود را از شر این انرژی اضافی می‌رهاند.

شکل ۳۳-۷ منحنی نور تقریبی یک نواختر. افزایش روشنی به میزان ۱۰،۰۰۰ مرتبه ممکن است طی چند روز صورت گیرد. به دنبال این افزایش معمولاً تا چند روز تغییری در روشنی پدید نمی‌آید و سپس افزایشی به ضریب ۱۰ روی می‌دهد. نزول روشنی نامنظم‌تر است و معمولاً چندین سال طول می‌کشد.



توضیح بنیادی‌تر به این واقعیت می‌پردازد که ستاره‌هایی که اندکی جرمدارتر اند (بیش از ۲ر۱ برابر جرم خورشید) باید، پیش از آن که وارد مرحلهٔ تکامل موسوم به کوتولهٔ سفید شوند، این جرم اضافی را از دست بدهند. این از دست دادن جرم ممکن است از راه دفع یک یا چند لایهٔ نازک انجام گیرد که در نتیجه ستاره، نواختر یا نواختر بازآیند می‌شود.

* پژوهش‌های چند دههٔ اخیر نشان داده است که نواختران، منظومه‌هایی دوتایی اند متشکل از یک ستارهٔ کوتولهٔ سفید و یک ستارهٔ غول سرخ، که در مداری تنگ به دور یکدیگر می‌گردند.

گرانش نیرومند کوتولهٔ چگال، باعث سرریز ماده از غول به کوتولهٔ سفید می‌شود که به صورت لایه‌ای سطح آن را فرامی‌گیرد. با افزایش ماده در این لایه، فشار در قسمت‌های زیرین آن بسیار زیاد می‌شود و با شروع واکنش‌های هسته‌ای، انفجاری بزرگ لایهٔ بیرونی را به فضا پرتاب می‌کند. افزایش ناگهانی روشنی ستاره ناشی از این انفجار است. *

۷-۳۴ اَبَرنواختران، ستاره‌های نوترونی، سیاه چاله‌ها

مدارک موجود از چندین مورد انفجار ستاره‌ای با روشنی استثنایی حکایت می‌کند. افزایش درخشندگی در این موارد بیش از ۱۰۰۰۰، ۱۰ مرتبه بیشتر از افزایش نور در نواختران معمولی است. اینها را اَبَرنواختران می‌نامند. ستارهٔ پرنوری که در سال ۱۵۷۲، ناگهان در صورت فلکی ذات‌الکرسی پدیدار شد و سبب شد که تیخوبرائه عمر خود را وقف نجوم کند، از این دسته است. آخرین اَبَرنواختر ثبت شدهٔ کهکشان ما در ۱۶۰۴ مشاهده و دقیقاً به وسیلهٔ دانشمند بزرگ دیگری به نام یوهانس کپلر، مطالعه شد.

اطلاعات مربوط به ابرنواختران ظاهراً حکایت از آن می‌کند که در کهکشان ما تقریباً یک ابرنواختر در هر قرن روی می‌دهد. صدها ابرنواختر نیز در کهکشان‌های دیگر مشاهده شده است. یکی از آنها که در کهکشان امراۃالمسلسله روی داد در سال ۱۸۸۵ ثبت شد. روشنی این ستاره به یک دهم روشنی تمام کهکشان رسید.

* در ۲۳ فوریه ۱۹۸۷ ابرنواختری در ابر بزرگ ماژلان مشاهده شد. ابر بزرگ ماژلان کهکشان کوچکی در نزدیکی کهکشان ما (راه‌شیری) است. این ابرنواختر، به دلیل آن که نخستین ابرنواختری بود که در رصدخانه‌های مدرن و با تکنولوژی‌های مشاهداتی جدید، رصد شده بود، حایز اهمیت بود. در بررسی این ابرنواختر از آشکارسازهای نوترینویی بزرگ، و رصدخانه‌های

تابش X و گاما، مستقر در بیرون جو زمین و نیز از تلکسوپ‌های معمولی زمینی، بهره گرفته شد. این بررسی‌ها، مؤید نظریه‌هایی بود که در بارهٔ ساختار این اجرام کیهانی و سازوکار انفجار ستاره‌ای در آنها، ساخته شده بود. این ابرنواختر، ابرنواختر ۱۹۸۷A نامیده شده است.

ابرنواخترها از دو گونه اند:

ابرنواختر گونهٔ I که طیف آن حاکی از نبود ئیدروژن است. این ابرنواخترها، مانند نواخترها در منظومه‌هایی دوتایی روی می‌دهند که یکی از ستاره‌ها، کوتوله سفید است. جرم کوتولهٔ سفید با سرریز ماده از ستاره دیگر افزایش می‌یابد و سرانجام از حد چاندراشیکار فراتر می‌رود [به قضیهٔ زیر نگاه کنید]. ستاره می‌رُمبد و مقدار زیادی انرژی گرانشی و حرارت آزاد می‌کند. واکنش‌های هسته‌ای ناشی از آن، سیلی از نوترینو به‌وجود می‌آورد. قدر مطلق آنها در حین انفجار به ۱۹- می‌رسد. این ابر نواخترها در ستاره‌های پیر کهکشان‌های کروی و خوشه‌های کروی کهکشان‌های مارپیچی روی می‌دهند.

ابرنواخترهای گونهٔ II، هم در ستاره‌های منفرد هم در منظومه‌های دوتایی روی می‌دهند و معلول انفجار ستاره‌های جوان و پرجرم اند [به فصل ۹ نگاه کنید]. قدر مطلق آنها به ۱۷- می‌رسد. ابرنواختر ۱۹۸۷A از گونه II بود.*

این افزایش فوق‌العاده روشنی، در نتیجهٔ انفجار فاجعه‌آمیزی در ستاره است که ضمن آن بخش بیرونی ستاره به فضا پرتاب می‌شود و باقی یا به یک ستارهٔ نوترونی و یا به یک سیاه‌چاله تحول پیدا می‌کند.

پیش از آن که به بحث در این زنجیرهٔ رویدادها بپردازیم لازم است به قضیه‌ای دربارهٔ حد ماکزیموم جرم اشاره شود که از مطالعات نظری ساختمان ستاره‌ها به دست آمده است.

قضیه: ستاره‌ای که به پایان عمر گرما- هسته‌ای خود نزدیک می‌شود، اگر جرمش بیش از ۲ر۱ برابر جرم خورشید باشد نمی‌تواند به‌کوتولهٔ سفید (که سرنوشت «معمول» پایان یافتن عمر ستاره‌های معمولی است) تحول یابد. به بیان دیگر ستاره‌ای که جرمش بیش از ۲ر۱ برابر جرم خورشید باشد نمی‌تواند به شرایط تعادلی که در یک کوتوله سفید برقرار است، دست یابد. این حد ۲ر۱ برابر جرم خورشید به حد *چاندراشیکار* موسوم است (که به نام منجم هندی سابرامانیان چاندراشیکار[1] {۱۹۹۵- ۱۹۱۰} نامیده شده است).

1- Subrahmanyan Chandrasekhar

به همین نحو حد مربوط به یک ستارهٔ نوترونی (که در زیر خواهد آمد) ۲ر۳ برابر جرم خورشید است.

زنجیرهٔ رویدادهایی که در یک ابرنواختر اتفاق می‌افتد چنین است:

آ. ستاره‌ای که جرمش بسی بیشتر از جرم خورشید (مثلاً ۵برابر آن) است و همهٔ انرژی گرما هسته‌ای خود را به مصرف رسانده است، شروع به انقباض می‌کند.

ب. فشار داخلی قادر نیست که وزن لایه‌های گوناگون این ستارهٔ پرجرم را تحمل کند، ستاره می‌رُبد و گرمای فوق‌العاده زیادی تولید می‌شود.

پ. بخش بیرونی ستاره منفجر می‌شود و قسمت بزرگی از ستاره، احتمالاً بیش از نیمی از جرم آن، را به فضا پرتاب می‌کند که تبدیل به یک سحابی ابرنواختری می‌شود. مثال کلاسیک یک سحابی ابرنواختری، سحابی خرچنگ در ثور است که منشأ آن ابرنواختر سال ۱۰۵۴ بعد از میلاد است.

ت. بخش داخلی یا هستهٔ ستاره در دماها (بیلیون‌ها درجه) و فشارهای زیاد موجود، بسته به آن که جرمش بین ۲ر۱ و ۲ر۳ برابر جرم خورشید است یا بیش از ۲ر۳ جرم خورشید به (۱) یک ستارهٔ نوترونی (تپ‌اختر) یا (۲) یک سیاه‌چاله تحول می‌یابد.

گوشزدها:

۱. در فشارها و دماهای فوق‌العاده زیاد هستهٔ ستاره، پروتون‌ها و الکترون‌ها با هم ترکیب می‌شوند و نوترون‌ها را به وجود می‌آورند و نام ستارگان نوترونی از همین جا ناشی شده است.

ستاره‌های نوترونی فوق‌العاده کوچک اند (شعاع‌هایی در حدود چند ده کیلومتر دارند) و به طور غیر قابل تصوری چگال اند (۱۰۰ هزار میلیون کیلوگرم در سانتیمتر مکعب). در چنین ستاره‌ای، نوترون‌ها مانند یک گاز عمل می‌کنند و فشاری را به وجود می‌آورند که برای جلوگیری از رُمبش کامل کافی است. ستاره‌های نوترونی به سرعت دوران می‌کنند. برخی از آنها در هر ثانیه هزاربار به دور خود می‌چرخند.

ستارهٔ نوترونی در حین دوران، دارای میدان مغناطیسی نیرومندی است. شدت میدان مغناطیسی در بعضی از آنها بیلیون‌ها برابر میدان مغناطیسی در سطح زمین است. الکترون‌هایی که از بیرون به داخل این میدان پرتاب شوند سرعتشان کاهش می‌یابد و به گسیل اشعه می‌پردازند. تابه‌هایی از این اشعه که به زمین می‌رسد، همان پالس‌هایی است که به *پالسارها* (تپ اخترها) نسبت داده می‌شود. بنابراین تپ‌اخترها ستاره‌های نوترونی دواری هستند با

میدان‌های مغناطیسی بسیار قوی، که تابشی به صورت پالس گسیل می‌کنند. این پالس‌ها در بیشتر موارد پالس‌های رادیویی است. ناظر زمینی این پالس‌ها را دریافت می‌کنند.

محاسبات نظری حاکی از آن است که چون ذرات مادی با ستارهٔ نوترونی دواری به برهم‌کنش بپردازند، تابشی در طول‌موج‌های پرتو X گسیل می‌شود. این مطلب را مشاهده تأیید کرده است.

نخستین تپ‌اختر در سال ۱۹۶۷ به وسیلهٔ منجمان دانشگاه کمبریج کشف شد. دورهٔ تناوب بین پالس‌های این ستاره ۱٫۳ ثانیه است. تا به حال بیش از ۶۵۰ تپ‌اختر کشف شده است. یکی از این‌ها تپ‌اختری است که به سحابی خرچنگ مربوط است. تپ‌اختر سحابی خرچنگ را با علامت NP ۰۵۳۲ می‌شناسند، P حاکی از تپ‌اختر بودن آن است و N ۰۵۳۲ به این معنی است که در رصدخانه ملی نجوم رادیویی National Radio Astronomy Observatory در نزدیکی بُعد ۵ ۰ ساعت و ۳۲ دقیقه کشف شده‌است. این تپ‌اختر یک ستارهٔ پرتو X هم به شمار می‌رود بنابراین دورهٔ تناوب پالس اشعهٔ X همان دوره تناوب دوران ستاره است.

۲. هرگاه فشار ایجاد شده توسط نوترون‌ها نتواند مانع نیروهای انقباضی شود، هستهٔ ستاره ممکن است بر اثر گرانش به حجم صفر برُمبد و سیاه‌چاله شود. گرانش سطحی یک سیاه‌چاله به قدری زیاد است که نور یا هیچ چیز دیگر نمی‌تواند از چنگ آن بگریزد.

* اگر جرم هستهٔ به جا مانده از انفجار ابرنواختری از حد ۳٫۲ برابر جرم خورشید بیشتر باشد، سرنوشت آن به صورت ستارهٔ نوترونی رقم نمی‌خورد، بلکه گرانش بر همهٔ فشارهای دیگر فائق می‌آید. رمبش کامل گرانشی تحقق می‌یابد و ستاره از افق رویداد خود فراتر می‌رود و سیاه‌چاله می‌شود. دیگر هیچ چیز، حتی تابش هم نمی‌تواند از چنگ آن بگریزد. برای هسته‌ای به جرم سه برابر خورشید، شعاع افق رویداد (شعاع شوارتزشیلد) ۹ کیلومتر است!
سیاه چاله، گرچه از بیرون قابل «رؤیت» نیست، ولی گرانش نیرومند آن موجب اثراتی است که در شرایطی خاص آن را «قابل مشاهده» می‌کند. در منظومه‌های دوتایی ستاره‌ای، ممکن است که یکی از اعضا، سیاه‌چاله باشد و دیگری غول. محاسبات نشان می‌دهد که ماده سرریز شده از غول به سیاه‌چاله، پرتو X گسیل می‌کند. در صورت فلکی دجاجه چشمهٔ پرتو X نیرومندی وجود دارد که دجاجه X-۱ نام دارد. این چشمه در نزدیکی ستارهٔ ابرغول آبی رنگی قرار دارد که طیف آن حاکی از وجود ندیمی نامرئی است که جرمش بیش از ۵ برابر جرم خورشید است. منجمان این چشمه را کاندیدای خوبی برای سیاه‌چاله

بودن می‌دانند. کاندیدای دیگری هم در سال ۱۹۸۳ در ابربزرگ ماژلان کشف شده است (LMC X-۱).*

فصل ۸

مادهٔ میان-ستاره‌ای و سحابی‌ها

۱-۸ مادهٔ میان- ستاره‌ای

ستاره‌ها معمولاً به لحاظ اندازه بسیار بزرگ اند ؛ ولی فضای بین ستاره‌ها (فضای میان- ستاره‌ای) از آن هم بزرگ‌تر است. این فضای میان- ستاره‌ای پر از گاز و ذرات غبار بسیار خرد (به شعاع 10^{-5} سانتیمتر) است.

در حالی که مطالعات طیف‌نمودی و گسیل تابش رادیویی حاکی از آن است که گاز میان- ستاره‌ای عمدتاً متشکل از ئیدروژن و مقادیر اندکی عناصر دیگر نظیر کربن، نیتروژن، اکسیژن، سدیم، آهن و پتاسیم است، ترکیب ذرات غبار کمتر شناخته شده است. بنا بر یک نظریه، این ذرات از تعداد زیادی اتم کربن که به یکدیگر پیوسته‌اند و گرافیت را به وجود آورده‌اند، تشکیل شده است. پیشنهاد دیگر آن است که ذرات غبار در واقع متشکل از بلورهای یخ مانند H_2O، NH_3 و CH_4 یا مخلوطی از آن‌ها است.

چگالی مادهٔ میان- ستاره‌ای فوق‌العاده کم است. رقم قابل قبول، یک اتم در هر سانتیمترمکعب و در حدود ده ذرهٔ غبار در هر کیلومترمکعب است. ولی جرم کل مادهٔ میان- ستاره‌ای کاملاً قابل قیاس با جرم کل ستارگان است. مثلاً محاسبات نشان می‌دهد که جرم مادهٔ میان- ستاره‌ای در همسایگی خورشید در حدود یک چهارم جرم ستاره‌های مجاور است.

مادهٔ میان- ستاره‌ای هم موجب کمسو شدن و هم به سرخی گراییدن رنگ ستاره‌های دوردست می‌شود. اثر سرخ کننده به این دلیل است که مادهٔ میان- ستاره‌ای طول‌موج‌های کوتاه‌تر (آبی، بنفش) را از نور سرخ بسیار بهتر می‌پراکند. در نتیجه رنگ آبی پراکنده و رنگ قرمز از آن عبور می‌کند.

۲-۸ سحابی‌ها

در بسیاری نواحی فضای میان- ستاره‌ای توده‌های نسبتاً مجتمعی از ماده میان-

ستاره‌ای را می‌توان یافت. این‌ها را سحابی می‌نامند (سحاب به معنی ابر است). چگالی سحابی‌ها بیش از هزار برابر چگالی مادهٔ میان- ستاره‌ای است.

سحابی‌ها را به سحابی‌های (۱) گسیلشی، (۲) بازتابی و (۳) تاریک طبقه‌بندی کرده‌اند:

سحابی گسیلشی، ابری است از ماده که در آن یک یا چند ستارهٔ فوق‌العاده سوزان و درخشنده از گونهٔ طیفی O یا B جای دارد. نور فرابنفش این ستاره‌ها موجب یونش، برانگیزش ئیدروژن و اکسیژن و گسیل نور مشخصی از آنها می‌شود (فلوئورسانس). مثال بسیار خوبی از یک سحابی گسیلشی، سحابی بزرگ جبار است.

* نوع دیگری سحابی گسیلشی وجوددارد که سحابی سیاره‌ای نامیده می‌شود. ستاره‌ای در آخرین مراحل عمر، پوسته‌ای گازی از خود دفع می‌کند. پوسته بر اثر فشارهای داخلی گسترده خواهد شد.

نور فرابنفش ستارهٔ مرکزی باعث فلوئورسانس در گاز پوسته می‌شود. در نتیجه ستاره‌ای در مرکز با حلقه‌ای درخشان در اطراف داریم. سحابی حلقه در صورت فلکی شلیاق از این گونه است. *

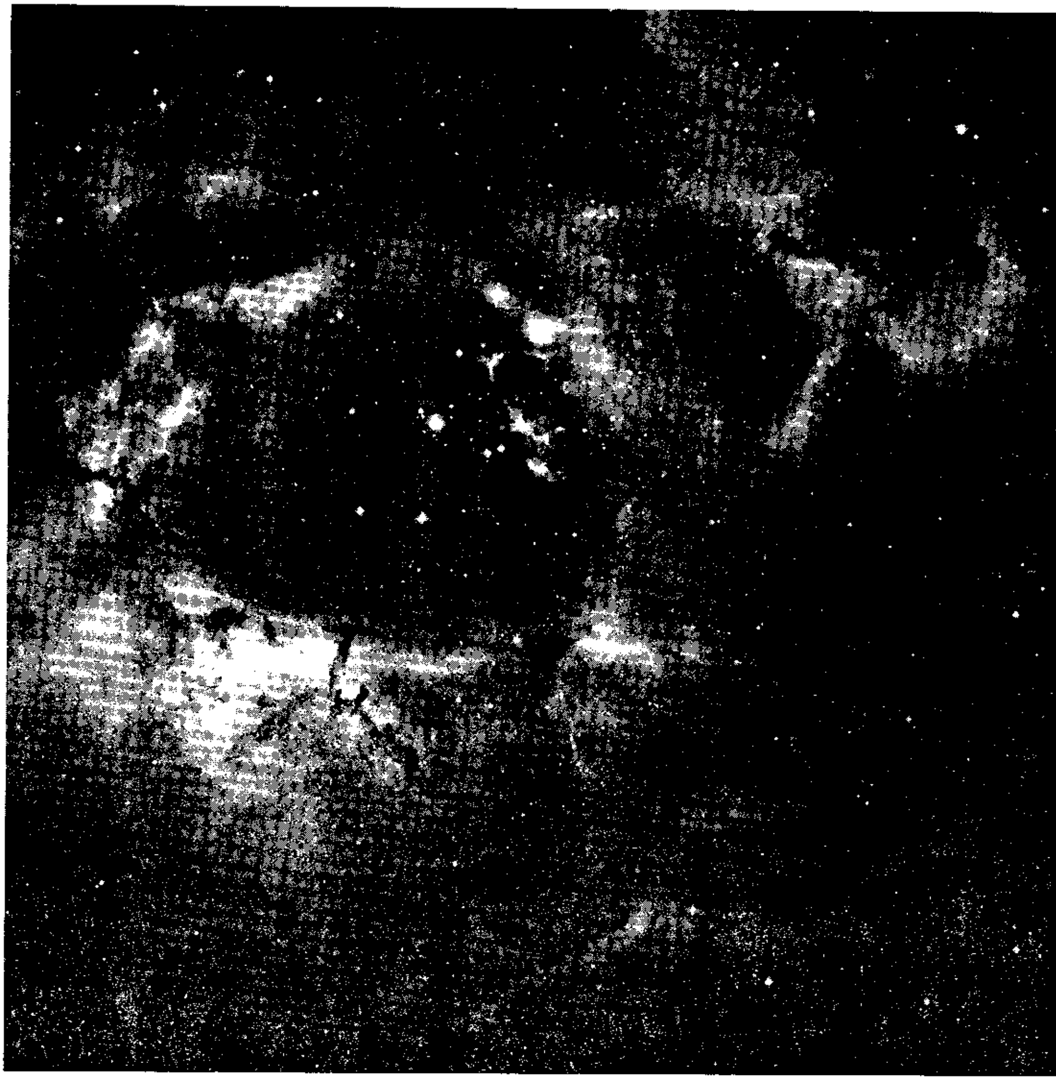
اگر ستاره یا ستاره‌هایی که در سحابی جای گرفته‌اند سردتر از گونهٔ B باشند مادهٔ ابر از خود نور گسیل نمی‌کند. بلکه نور ستاره را بازمی‌تابد. این سحابی‌ها به سحابی‌های بازتابی موسوم اند. البته طیف این قبیل سحابی با طیف ستاره، یکی است. مثال بسیار خوب سحابی‌های بازتابی، ابرهایی است که چندین ستارهٔ مهم خوشهٔ پروین را در برگرفته‌اند.

اگر در نزدیکی سحابی ستاره‌ای نباشد که نور آن را تأمین کند، آن سحابی را سحابی تاریک نامند. مثال برجستهٔ این گونه سحابی، سحابی سر اسب در صورت جبار است.

* ابرهای ئیدروژن خنثی یا نواحی HI : اگر تابش فرابنفش به قدر کافی موجود نباشد، اتم‌های ئیدروژن یونیده نمی‌شوند. در این صورت ابرهای گاز ئیدروژن خنثی خواهیم داشت. مشاهده این ابرها به روش‌های نجوم رادیویی میسر بوده است. *

* ۳-۸ منشأ ماده میان- ستاره‌ای

این مسئله جالب توجهی است که هم به پیدایش کهکشان ما مربوط می‌شود و هم به تکوین خورشید و سیارات. قسمتی از مادهٔ میان- ستاره‌ای، بازماندهٔ دوران تشکیل کهکشان و ستاره‌های نسل اول آن است.



سحابی NGC ۲۲۳۷ در صورت فلکی تکشاخ (Monoceros). گمان می‌رود که لکه‌های تاریکی که در این عکس دیده می‌شود «غده»هایی از گاز در حال انقباض باشد که از آنها ستاره‌ها پدید می‌آیند. این عکس با تلسکوپ ۹۰ سانتیمتری رصدخانهٔ بنیاد ملی علوم، واقع در کیت پیت گرفته شده است.

اما قراین زیادی هم وجود دارد که بخش بزرگی از مادهٔ میان- ستاره‌ای از ستاره‌هایی که آخرین مراحل تحول خود را طی می‌کنند (غول‌های سرخ، نواختران و ابرنواختران) به محیط بین ستاره‌ها راه یافته‌اند. ترکیب اولیهٔ مادهٔ میان - ستاره‌ای بیشتر ئیدروژن و هلیوم بود، که عنصرهای آغازین نامیده می‌شوند. اما رد عناصر سنگین‌تر نظیر کربن، ازت، و اکسیژن نیز در آن دیده شده است. این عناصر از طریق واکنش‌های هسته‌ای در مرکز ستاره‌ها، بوجود آمده‌اند و سپس از طریق انفجارهای ستاره‌ای به فضای میان- ستاره‌ای راه یافته‌اند.

فصل ۹

ستارگان: انرژی و تکامل

قسمت اول: انرژی

۱-۹ بزرگی انرژی

تخمین زده می‌شود که چندین بیلیون سال است که ستاره‌ها مشغول گسیل انرژی نورانی و گرمایی اند. این همه انرژی از کجا آمده است؟ و هم‌اکنون از کجا می آید؟

نظریه‌های زیادی برای پاسخ گفتن به این سؤال‌ها ساخته شده است، اما پیش از پرداختن به نظریه‌ها، بهتر است که تصوری از بزرگی انرژی‌های مورد نظر به دست آوریم. مقدار نسبتاً دقیق کل انرژی‌ای راکه در هر دقیقه در یکی از این ستاره‌ها (خورشید) تولید می‌شود، می‌توان به آسانی حساب کرد.

آ. در هر دقیقه هر سانتیمترمربع از سطح زمین، که قائم بر امتداد اشعهٔ خورشید باشد، مقداری برابر با ۹۴ر۱ کالری انرژی به صورت گرما و نور دریافت می‌کند. (این عدد به ثابت تابش خورشیدی موسوم است). انرژی خورشید با آهنگی در حدود ۲ میلیون اسب بخار بر کیلومترمربع به سطح زمین می‌رسد. مقدار کل انرژی‌ای که سالانه سطح زمین دریافت می‌کند رقمی خارق‌العاده است و از ۵ میلیون برابر کل انرژی‌ای که از ذغال سنگ، گاز، آبشارها، نفت و همه منابع مصنوعی دیگر انرژی تولید می‌شود فراتر می‌رود.

ب. با دانستن فاصلهٔ سطح زمین از خورشید می توان کل انرژی‌ای راکه در دقیقه به وسیلهٔ خورشید تابش می‌شود محاسبه کرد: ۴۷۲،۳۰۰ بیلیون بیلیون اسب بخار! (زمین فقط یک دوبیلیونم انرژی ساطع شده از خورشید را دریافت می‌کند). ۴۷۲،۳۰۰ بیلیون بیلیون اسب بخار انرژی به مدت چندین بیلیون سال!

احتراق معمولی نظیر احتراق ذغال سنگ نمی‌تواند پاسخگوی آن باشد.

اگر خورشید از بهترین نوع ذغال سنگ هم ساخته شده بود، مدت‌ها پیش به خاکستر بدل شده بود.

۹-۲ نظریهٔ گرانشی

تا اوایل قرن حاضر فقط یک توضیح عقلایی وجود داشت و آن توضیحی بود که فیزیکدان آلمانی هرمان هلم‌هولتس [۱] (۹۴-۱۸۲۱) تدوین کرده بود. مطابق نظریهٔ هلم‌هولتس، از قطر ستارگان به تدریج کاسته می‌شود. کاهش اندکی در حجم می‌تواند مقادیر انرژی مورد نیاز را فراهم آورد. می‌توان محاسبه کرد که در مورد خورشید کاهشی در قطر معادل ۶۰ متر در سال جوابگوی انرژی گسیل شده خواهد بود. این نظریه را اغلب اوقات نظریهٔ گرانشی انرژی ستاره‌ای گویند، زیرا علت اصلی کاهش قطر، جاذبهٔ گرانشی وارد بر لایه‌های خارجی، به سمت مرکز خورشید است.

۹-۳ انرژی حاصل از منابع هسته‌ای

امروزه می‌دانیم که انرژی ستارگان از واکنش‌های هسته‌ای درون آن حاصل می‌شود. این که در سطح زمین می‌توان از انهدام قسمتی از جرم هستهٔ اتمی انرژی به دست آورد واقعیتی است کاملا محرز. انرژی ستارگان نیز به طریقهٔ مشابهی ایجاد می‌شود. این فرایندهای هسته‌ای، داده‌های تجربی موجود را تبیین می‌کنند.

البته تبدیل جرم به انرژی مطابق معادلهٔ معروف اینشتاین

$$E = mc^2$$

صورت می‌پذیرد. در این رابطه m برحسب گرم، مقدار جرمی است که از بین رفته است، c برحسب سانتیمتر بر ثانیه، سرعت نور است و E، برحسب ارگ، انرژی حاصل آمده است.

قسمت دوم: سرگذشت یک ستاره

۹-۴ مقدمه

اکنون می‌توان به‌اختصار خطوط اصلی سرگذشت یک ستاره را ترسیم کرد. این سرگذشت گرچه در حال حاضر منطقی و کامل به نظر می‌رسد، ولی

1- Hermann Helmholtz

تحقیقات آینده ممکن است قسمت‌هایی از آن را تغییر دهد.

زندگی یک ستاره را می‌توان به شش دوره تقسیم کرد:

آ. تولد (تراکم موضعی ماده سحابی)

ب. نوباوگی (مرحله انقباض)

پ. بلوغ (رشتهٔ اصلی)

ت. پختگی (غول سرخ)

ث. کهولت (متغیرها)

ج. آخرین مراحل (کوتوله‌های سفید، ستاره‌های نوترونی و سیاه چاله‌ها).

سرگذشت یک ستاره تا حد زیادی بسته به جرم آن است. عمر احتمالی آن نیز چنین است. عمر احتمالی ستارگان از چندین میلیون سال (در مورد ستارگان بسیار پرجرم) تا چندین بیلیون سال (برای ستارگان کم جرم) تغییر می‌کند.

می‌بینیم که جرم ستاره‌های آسمان متفاوت است و آنها که جرم‌شان یکی است در مراحل متفاوت تحول اند. برخی، به معنی نجومی آن، به‌تازگی زاده شده‌اند، بعضی دیگر در عنفوان جوانی اند و عده‌ای دیگر نیز ایام کهولت را سپری می‌کنند. اگر این مراحل را ترکیب کنیم، ممکن است به تصویر کم و بیش کاملی برای همهٔ ستاره‌ها دست یابیم.

مانند همه نظریه‌های تحول، باید دربارهٔ نقطهٔ آغاز فرضی بکنیم. نقطهٔ آغاز ما سحابی‌ای است در فضای میان- ستاره‌ای. چگالی متوسط ماده در سحابی چندین هزار اتم در سانتیمترمکعب (یا ۵×۱۰^{-۲۱} گرم در سانتیمترمکعب) است. دما فقط چند درجه بیش از صفر مطلق، فرضاً $۳^{\circ}K$، است.

در آغاز، یعنی وقتی که نخستین نسل ستارگان پدید آمد، سحابی‌ها فقط مرکب از ئیدروژن و هلیوم (عمدتاً ئیدروژن به اضافهٔ درصد کمی هلیوم) بودند.

نود و چند عنصر طبیعی دیگر در هستهٔ ستارگان پرجرم بسیار سوزان به وجود آمدند. این عناصر در پی فوران‌های نواختری و انفجارهای فاجعه‌آمیز ابرنواختری از هستهٔ ستارگان به سحابی‌ها راه یافتند.

ستاره‌های نسل‌های بعدی علاوه بر ئیدروژن و هلیوم شامل درصد بسیار کمی از همه (یا تقریباً همهٔ) عناصر طبیعی دیگر شدند.

۵-۹ تولد

حرکت‌های جزئی در داخل سحابی موجب تراکم‌های موضعی ماده می‌شود. نیروهای گرانشی کمک بزرگی به تجمع ماده در این نواحی متراکم می‌کنند و تودهٔ مادی مجزایی را، پدید می‌آورند که پیش- ستاره نامیده می‌شود و احتمالاً 10^{27} (یک بیلیون بیلیون بیلیون) تن جرم دارد.

گوشزد: احتمالاً گهواره‌های تاریک کوچکی که بیشتر در کنارهٔ بعضی از سحابی‌ها دیده می‌شود، پیش- ستاره اند. جرم‌هایی که از رقم فوق خیلی کمتر باشند، به قدر کافی اثر گرانشی ندارند که واحدی مجزا شوند؛ جرم‌های بسیار بزرگ‌تر ناپایدار اند به چندین ستارهٔ کوچک‌تر تفکیک می‌شوند.

به این ترتیب ستاره‌ای زاده می‌شود. نخستین ستاره‌ها، شاید ۱۰ بیلیون سال پیش تشکیل شدند؛ و جدیدترین‌شان هم اکنون در حال پیدایش اند. تردیدی در این نیست که این فرایند ادامه می‌یابد و ستاره‌ها پیوسته زاده می‌شوند.

ستاره در هنگام تولد به قدری سرد است که نور مرئی گسیل نمی‌کند. گسیل امواجی با طول موج رادیویی بسیار محتمل‌تر است.

۶-۹ نوباوگی

جرم عظیم مادهٔ سحابی، تحت تأثیر جاذبهٔ گرانشی خود منقبض می‌شود و به این ترتیب انرژی پتانسیل مکانیکی را به گرما تبدیل می‌کند. گسیل تابش اصلی از امواج رادیویی به امواج فروسرخ تغییر می‌یابد. شئ را در این حالت ستارهٔ فروسرخ نامند.

این جریان انقباض و گرم شدن به سرعت (در مقیاس نجومی) و در دوره‌ای حدود ۳۰ میلیون سال صورت می‌پذیرد و از سه مرحلهٔ اصلی تشکیل شده است:

آ. وسعت جرم بزرگی که در آغاز در حدود تریلیونها کیلومتر بود به چندصد میلیون کیلومتر کاهش پیدا می‌کند.

ب. فشار در مرکز از (تقریباً) صفر به چندین هزار میلیون جو (اتمسفر)، افزایش می‌یابد.

پ. دمای قسمت مرکزی از چند درجهٔ مطلق به حدود ۲۰ میلیون درجهٔ مطلق می‌رسد که برای شروع تبدیل گرما- هسته‌ای ئیدروژن به هلیوم کفایت می‌کند.

حال دیگر نوباوگی ستاره سپری شده و ستاره به دوران بلوغ پا گذاشته است. به اصطلاح علمی، ستاره به خط رشتهٔ اصلی در نمودار هرتسپرونگ-راسل (به شکل ۲۳-۷ نگاه کنید) رسیده است.

گوشزدها: ۱.زمان لازم برای گذار از تولد به بلوغ عملاً بسته به جرم ستاره است. ستارگان پرجرم به‌سرعت متحول می‌شوند و ممکن است پس از چند صد هزار سال به مرحلهٔ بلوغ برسند، در حالی که برای ستاره‌های کم‌جرم ممکن است زمانی بسیار درازتر از ۳۰ میلیون سال سپری شود تا به رشتهٔ اصلی برسند.

۲. طبیعی است که ستاره‌های پرجرم‌تر در نقاطی بالاتر از ستاره‌های کم‌جرم به خط رشتهٔ اصلی می‌پیوندند، زیرا بسیار درخشنده‌تر از ستاره‌های کم‌جرم‌تر اند.

۷-۹ بلوغ (ستارگان رشتهٔ اصلی)

هرچند که تا این مرحله، گرانش تنها چشمهٔ انرژی بوده است، پایان دورهٔ نوباوگی را ظهور چشمهٔ جدیدی مشخص می‌کند: انرژی حاصل از واکنش‌های گرما- هسته‌ای.

انرژی هسته‌ای ستارگان، مطابق فرمول $E=mc^2$ اینشتاین، از جرم تولید می‌شود. در این رابطه m برحسب گرم، c (سرعت نور) بر حسب سانتیمتر در ثانیه و E بر حسب ارگ خواهد بود.

در این فرمول جرم درواقع تفاضل جرم‌ها است، یعنی تفاضل میان مجموع جرم‌های اتم‌های سبکی که به واکنش می‌پردازند و جرم کل اتم‌های سنگین‌تری که از واکنش نتیجه می‌شوند.

هرگاه ۴ اتم ئیدروژن در دمای زیاد و در حوالی مرکز ستاره با هم ترکیب شوند (فرایند یا گداخت گرما- هسته‌ای) و یک اتم هلیوم را به وجود آورند، کاهش جرم عبارت است از:

۴×(جرم اتم ئیدروژن) = $4\times 1.673\times 10^{-24}$ گرم

= 6.692×10^{-24} گرم

منهای

جرم اتم هلیوم = 6.644×10^{-24} گرم

= 0.05×10^{-24} گرم

جرم «گم شده»، به انرژی تبدیل شده است:

$$E=mc^2 = 0.05\times10^{-24}\times(3\times10^{10})^2$$
$$=4\times10^{-5} \text{ ارگ}$$

بنابراین در خورشید یا هر ستارهٔ دیگر هر بار که ۴ اتم ئیدروژن در هم می‌گدازند و یک اتم هلیوم را به‌وجود می‌آورند، 4×10^{-5} ارگ انرژی تولید می‌شود.

خورشید در هر ثانیه در حدود 4×10^{33} ارگ انرژی به فضا گسیل می‌کند. برای تولید این مقدار عظیم انرژی در هر ثانیه خورشید در هستهٔ خود ۷۰۰،۰۰۰،۰۰۰ میلیون کیلوگرم ئیدروژن به مصرف می‌رساند و ۶۹۵،۰۰۰،۰۰۰ میلیون کیلوگرم هلیوم تولید می‌کند.

گرچه این اعداد خود بسیار بزرگ اند، ولی جز کسر بسیار ناچیزی از جرم ئیدروژن موجود به شمار نمی‌آیند. از این رو خورشید به احتمال زیاد چندین بیلیون سال دیگر نیز همچنان خواهد درخشید.

علم، برای گداخت ئیدروژن به هلیوم به دو فرآیند پی برده است. یکی به سیکل پروتون- پروتون موسوم است و دیگری به سیکل کربن.

در فرایند پروتون- پروتون چندین مرحله وجود دارد:

آ. دو اتم ئیدروژن با هم ترکیب می‌شوند و ایزوتوپی از ئیدروژن را که دوتریوم نام دارد، به وجود می‌آورند.

ب. دوتریوم یک اتم ئیدروژن دیگر به خود می‌گیرد و ایزوتوپ سبک هلیوم را تشکیل می‌دهد.

پ. دو اتم هلیوم سبک، اتم هلیوم نهایی را به وجود می‌آورند.

سیکل کربن اندکی پیچیده‌تر است. در این واکنش‌ها کربن، نیتروژن و اکسیژن متناوباً ظاهر می‌شوند و از بین می‌روند. اثر کلی شش واکنش هسته‌ای متمایز آن است که مانند مورد پروتون- پروتون، چهار اتم ئیدروژن در هم می‌گدازند و یک اتم هلیوم را پدید می‌آورند و همان مقدار انرژی نیز رها می‌گردد.

احتمالاً واکنش پروتون- پروتون، واکنش غالب در ستاره‌هایی نظیر خورشید است که هستهٔ آن‌ها نسبتاً سرد است. حداقل دمای لازم $10^6\,{}^\circ K$ است.

در ستاره‌هایی که پرجرم‌تر از خورشید اند، با حداقل دمای مرکزی $10\times10^6\,{}^\circ K$ سیکل کربن فرایند اصلی است.

قسمت عمدهٔ عمر ستاره در این مرحله رشته اصلی سپری می‌شود. در

میلیون‌ها سالی (برای ستاره‌ای کم‌جرم‌تر) که می‌گذرد ستاره فقط به اندازهٔ یک قدر روی نمودار هرتسپرونگ - راسل بالا می‌رود.

۸-۹ پختگی (غول‌های سرخ)

وقتی ئیدروژن هستهٔ ستاره تمام می‌شود، ستاره باز به چشمهٔ دیگر انرژی، یعنی گرانش روی می‌آورد. هسته شروع به انقباض می‌کند و داغ‌تر می‌شود. در نتیجه سه چیز روی می‌دهد:

آ. دما در بیرون قسمت مرکزی به اندازه‌ای می‌شود که گداخت ئیدروژن به هلیوم در آنجا امکان‌پذیر می‌گردد.

ب. لایه‌های خارجی ستاره منبسط می‌شوند و ستاره تبدیل به غول می‌شود.

پ. دمای سطحی ستاره کاهش می‌یابد و ستاره، بسته به جرمش، غول یا ابرغول سرخ می‌شود.

برای ستاره‌ای چون خورشید، این جریان ممکن است بیلیون‌ها سال دوام آورد. در این مرحله شعاع آن ممکن است پنجاه برابر شود و دمای سطحی تا حدود K° ۳،۰۰۰ کاهش یابد.

این جریان بر روی نمودار هرتسپرونگ - راسل با خطی به سمت راست و رو به بالا از نقطهٔ جدایی از رشتهٔ اصلی، مشخص می‌شود. به شکل ۷-۲۲ نگاه کنید.

۹-۹ کهولت (متغیرها)

هستهٔ هلیومی ستاره، همزمان با انبساط قسمت‌های خارجی، منقبض می‌شود و دمایش افزایش می‌یابد. دردمای ۱۰۰ میلیون درجه واکنش جدیدی آغاز می‌گردد و بار دیگر مسیر تحول عوض می‌شود.

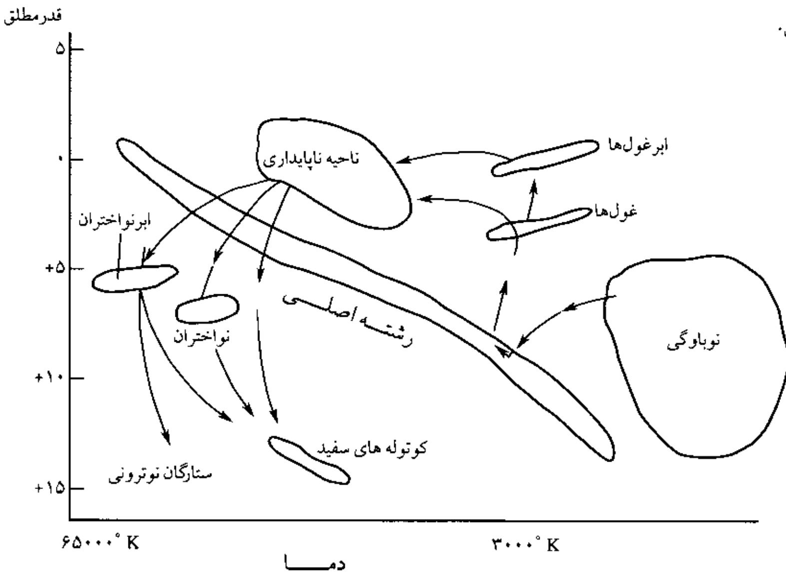
در این دما ۳ اتم هلیوم با یکدیگر ترکیب می‌شوند و یک اتم کربن را می‌سازند. بعدها بار دیگر ستاره به چشمه‌های گرانشی خود روی می‌آورد و باز هم کوچک‌تر و کوچک‌تر می‌شود. مسیری که بر روی نمودار هرتسپرونگ - راسل دنبال می‌شود، دوباره تغییر جهت داده به سمت چپ ادامه می‌یابد. به شکل ۹-۹ نگاه کنید.

مدتی بعد، هنگامی که ستاره از نوار ناپایداری می‌گذرد، به تپیدن آغاز می‌کند و متغیری قیفاوسی می‌شود و بالاخره، بسته به جرمی که دارد، یکی از سه واقعهٔ زیر روی می‌دهد:

آ. اگر جرم ستاره کمتر از ۱٫۲ برابر جرم خورشید باشد، ستاره به کوتولهٔ

سفید تبدیل می‌شود.

ب. اگر ستاره اندکی سنگین‌تر از رقم ۲ر۱ باشد، بخشی از جرمش را به دور می‌افکند و نواختر می‌شود یا بخش‌های کوچکی از جرم خود را به دفعات متوالی به دور می‌افکند و نواختر بازآیند می‌شود. سرانجام ستاره به کوتوله‌ای سفید تبدیل خواهد شد.



شکل ۹-۹سرگذشت زندگی یک ستاره بر روی نمودار هرتسپرونگ- راسل.

پ. اگر جرم ستاره بسیار بیش از ۲ر۱ برابر جرم خورشید باشد، ستاره بخش بزرگی از جرم خود را به فضا پرتاب خواهد کرد و به این طریق موجب پیدایش یک سحابی ابرنواختری و نیز، بسته به مقدار جرمی که منقبض می‌شود، یک کوتولهٔ سفید، یک ستارهٔ نوترونی یا یک سیاه‌چاله ، خواهد شد. این مطلب به تفصیل بیشتر در بخش ۳۴-۷ آمده است.

۹-۱۰ مراحل آخرین

کوتولهٔ سفید. برای آن که ستاره کوتولهٔ سفید بشود، رویدادهای زیر باید صورت بپذیرد.

آ. همهٔ انرژی گرما- هسته‌ای که در دسترس ستارهٔ اصلی بود، کاملاً به مصرف برسد.

ب. هسته‌های اتمی تا حد ممکن متراکم شوند تا انرژی گرانشی بیشتری قابل حصول نباشد.

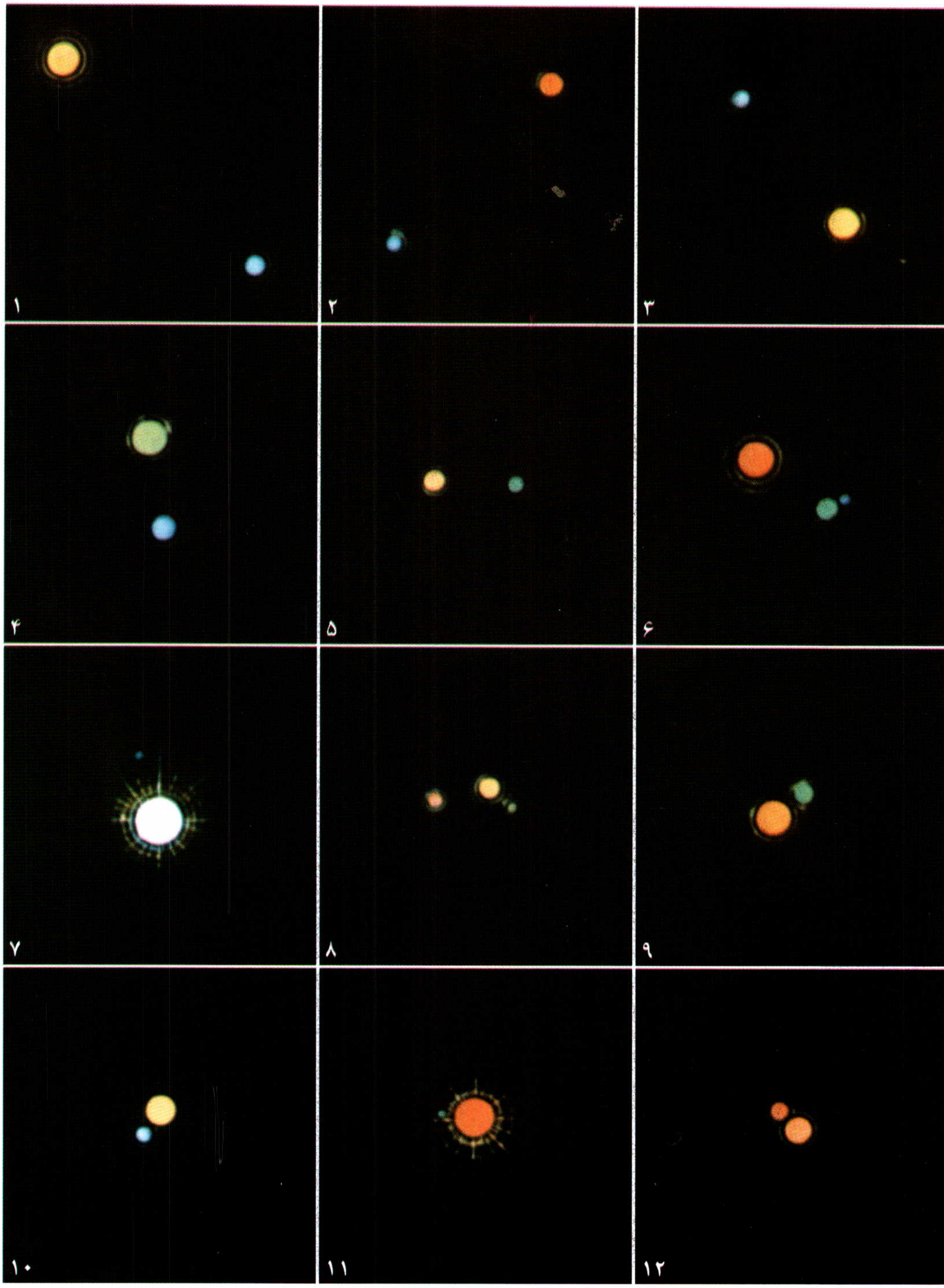
پ. الکترون‌های آزاد نمی‌توانند انرژی‌ای فراهم آورند، تنها منبع به جای ماندهٔ انرژی، حرکت تصادفی (گرمایی) هسته‌ها است.

حرکت هسته‌های مثبت اندک اندک کند می‌شود و انرژی جنبشی تنها چشمهٔ گرما و نور کوتولهٔ سفید است. سرانجام این چشمه نیز از میان خواهد رفت.

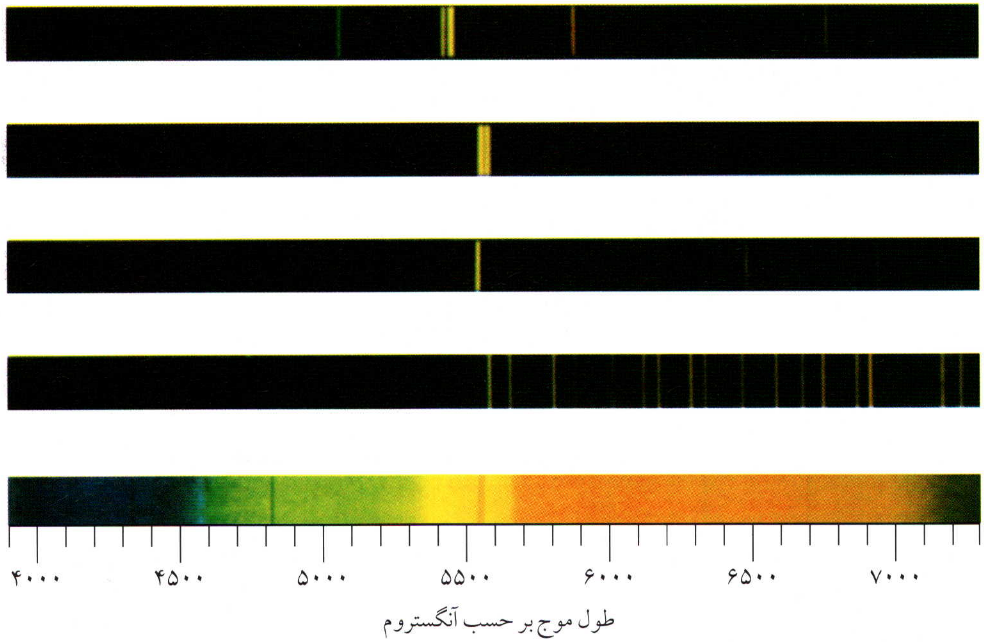
پس از چند بیلیون سال، دیگر نوری ساطع نخواهد شد. رابطهٔ بصری آن با زمین قطع خواهد شد. تنها با جاذبهٔ گرانشی خود است که ستارهٔ در حال احتضار از وجود خود خبر می‌دهد، یعنی تنها با اختلالی که در مسیر ستاره‌ای دیگر پدید می‌آورد است که ما از وجود شئ‌ای آگاه می‌شویم که زمانی، برای بیلیون‌ها سال می‌درخشیده است.

ستارهٔ نوترونی: ستاره انرژی خود را به فضا می‌دهد و سرعت دورانی‌اش کند می‌شود. کاهش سرعت چرخش یا افزایش دورهٔ تناوب در بسیاری از این ستاره‌ها مشاهده شده است. سرانجام این نوع ستاره نیز همهٔ انرژی خود را از دست می‌دهد و مانند کوتولهٔ سفید، چون تودهٔ تاریکی از ماده که تنها میدانی گرانشی گرداگردش وجوددارد، در فضا حرکت خواهد کرد.

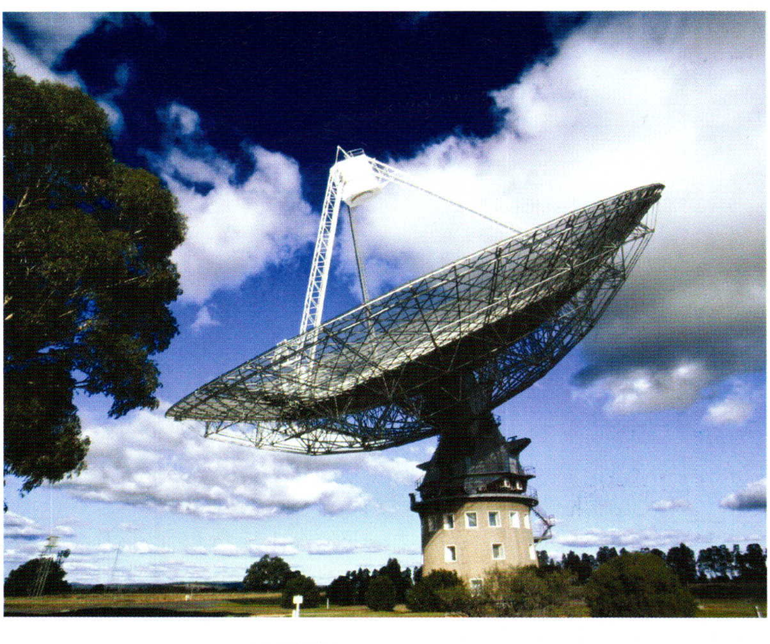
سیاه چاله: این دیگر ستاره به شمار نمی‌رود. نه نور و نه ماده، هیچ چیز از چنگ آن نمی‌تواند بگریزد. آن را نه از روی زمین می‌توان مشاهده کرد و نه از هیچ سکوی دیگری. بازهم تنها اثر خارجی آن توانائی‌اش به اعمال جاذبهٔ گرانشی بر ماده است.



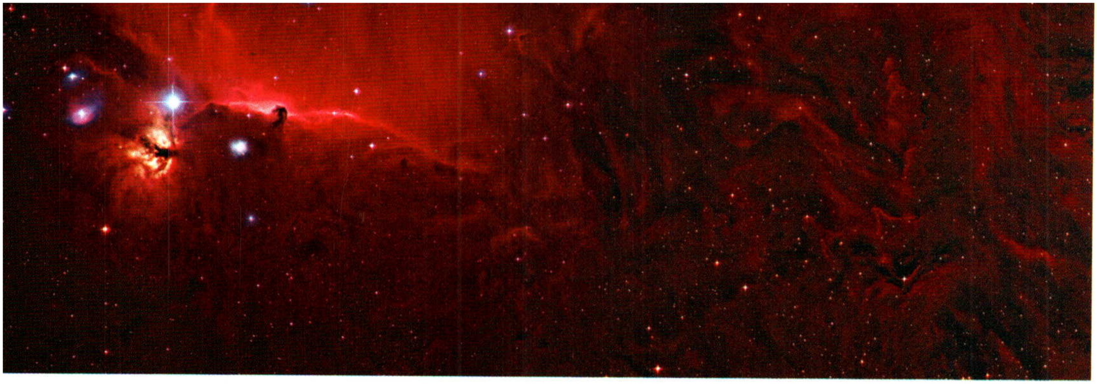
ستاره‌های چندتایی رنگین. ۱- β-دجاجه، ۲- η-برساوش، ۳- α-تازی، ۴- β-عقرب، ۵- γ-دلفین، ۶- υ-امرأة المسلسله، ۷- β-جبار، ۸- ι-ذات الکرسی، ۹- α-جاثی (رأس الجاثی)، ۱۰- ε-عوا، ۱۱- α- عقرب (قلب العقرب)، ۱۲- ξ-عوا (تصویرها اندکی خارج از کانون گرفته شده است.)



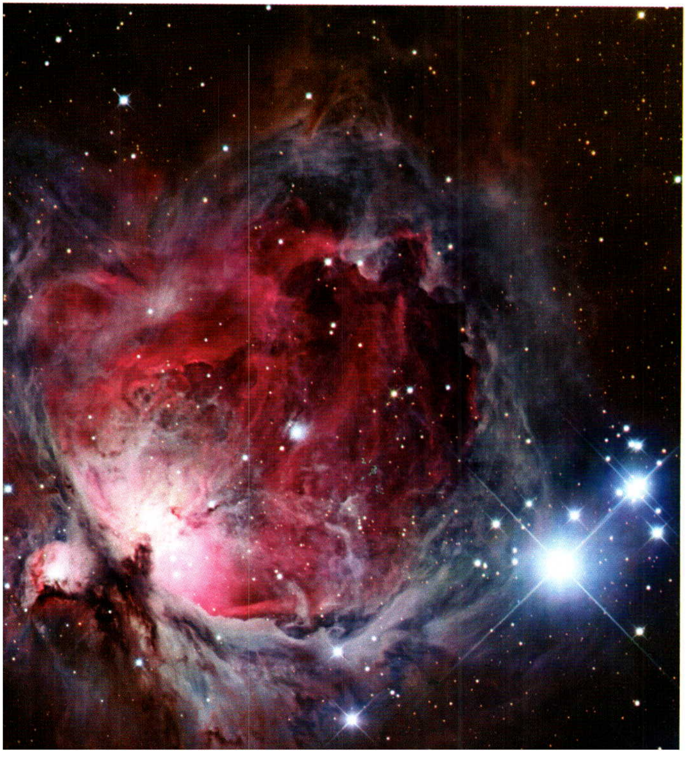
طیف‌های گسیلشی مربوط به چند عنصر شیمیایی و طیف خورشید. طیف‌های عناصر از بالا به پایین مربوط هستند به: (آ) جیوه، (ب) سدیم، (پ) هلیوم، (ت) نئون. در طیف خورشید (ث) بعضی از خطوط جذبی اصلی دیده می‌شود.



رادیو تلسکوپ بزرگ رصدخانهٔ رادیویی پارکز در سیدنی استرالیا. قطر کاسهٔ سهمی‌وار این تلسکوپ ۶۴ متر است. علاوه بر پژوهش‌های متداول، از این تلسکوپ در مطالعات تداخل‌سنجی رادیویی نیز استفاده می‌شود.
تداخل‌سنجی رادیویی از تکنیک‌هایی است که برای بهبود توان تفکیک و افزایش دقت رصدها به کار می‌رود.



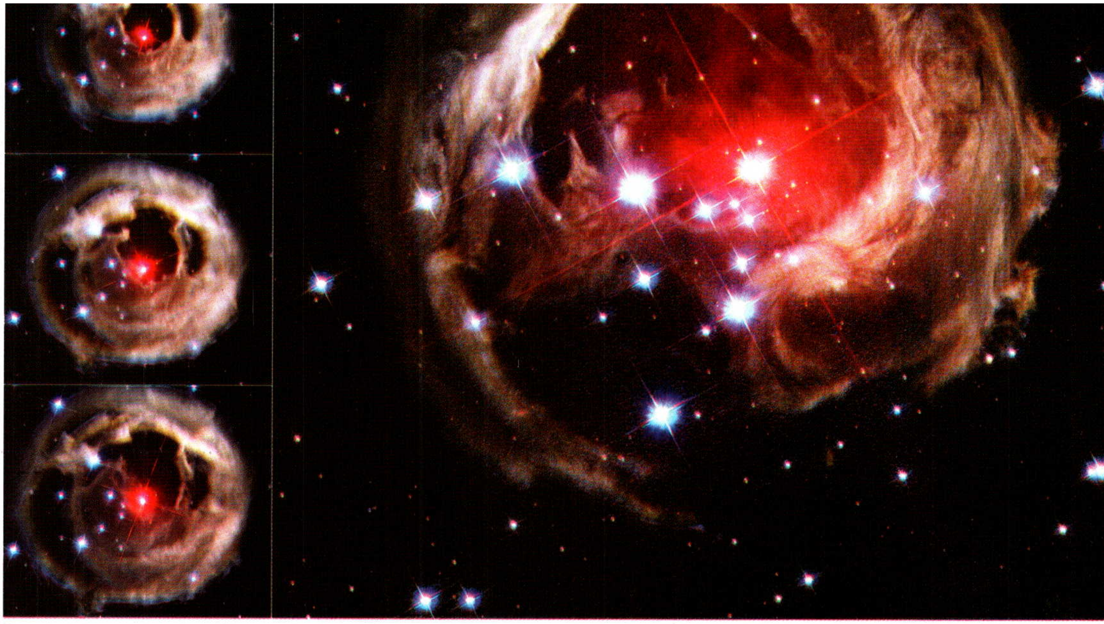
موزائیکی از چهار نمای تصویری (با فیلتر ئیدروژن آلفا) که در آن چند سحابی دیده می‌شود. در بالا و گوشهٔ راست سحابی گسیلشی جبار و در پایین و چپ سحابی تاریک سر اسب دیده می‌شود.



سحابی بزرگ صورت فلکی جبار، M۴۲، نمونه‌ای از یک سحابی گسیلشی است. گازهای این ابر وسیع در نتیجهٔ چهار ستارهٔ سوزان که در مرکز عکس قرار دارند، برانگیخته می‌شود.

اخترفیزیک‌دانان بر این عقیده‌اند که در این سحابی جریان تکوین ستاره‌ای در حال وقوع است. سحابی جبار را با تلسکوپ کوچکی هم می‌توان دید. این سحابی ۱۶۰۰ سال نوری از ما فاصله دارد و قطر آن برابر با ۲۰ سال نوری است.



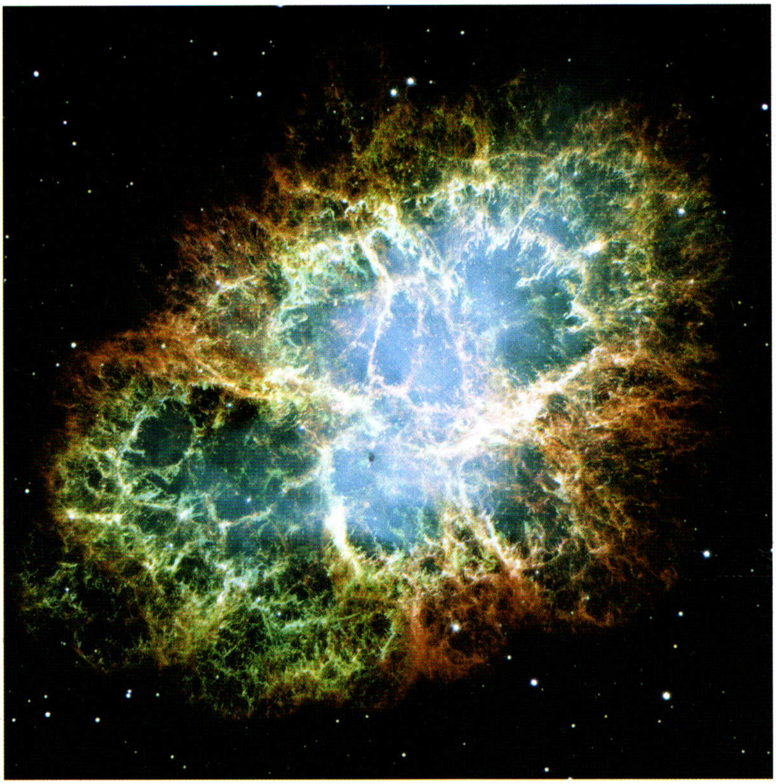


درخشش ناگهانی ستارهٔ ابر غول سرخ V۸۳۸ در صورت فلکی تکشاخ در سال ۲۰۰۲ که به مدت چند هفته دوام آورد. «پژواک»های این انفجار ستاره‌ای،در فضا به وضوح مشهود است. غبارهای اطراف ستاره که در این فرایند روشن شده‌اند، حاکی از وقوع انفجارهای قبلی ستاره است(تصویر از تلسکوپ فضایی هابل).

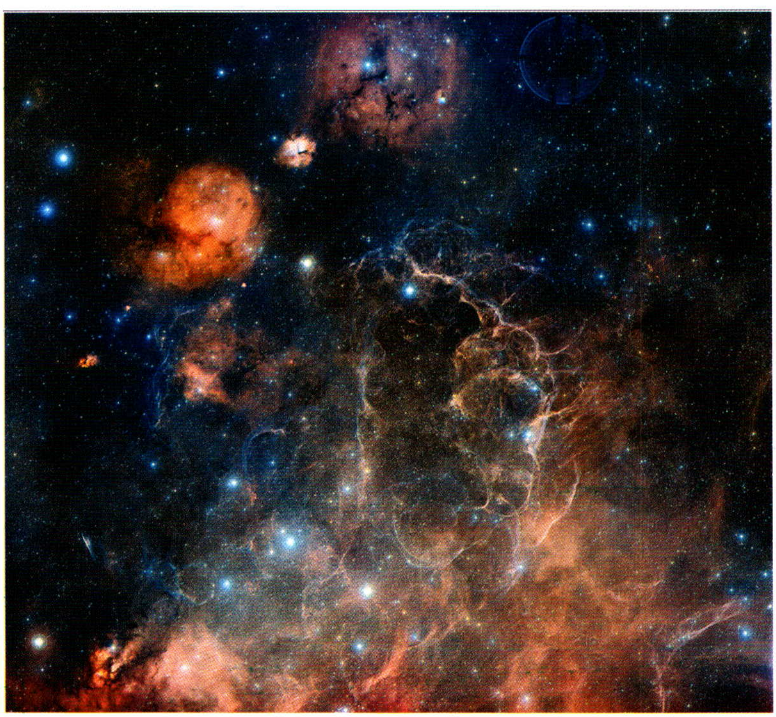
سحابی رُزت (گل سرخ)در صورت فلکی تک شاخ. آیا نامی زیبنده‌تر بر این سحابی می‌توان نهاد؟ عنوان‌اش در کاتالوگ عمومی جدید NGC۲۲۳۷ است. سحابی رزت یک سحابی گسیلشی است که در وسط آن یک خوشهٔ باز ستاره ای از ستاره‌های جوان و پرنور جای دارد. این خوشه با عنوان NGC۲۲۴۴ مشخص شده‌است. بادهای ستاره‌ای این ستاره‌ها حفره‌ای در مرکز سحابی پدید آورده اند. نور فرابنفش ستاره های داغ خوشه، باعث درخشش سحابی می شود. قطر سحابی رزت یک صد سال نوری و فاصلهٔ آن از ما ۵۰۰۰ سال نوری است. با تلسکوپی کوچک هم می‌توان آن را دید.



سحابی سه پاره، M۲۰، در صورت فلکی قوس. این سحابی ۳،۰۰۰ سال نوری از زمین فاصله دارد. اخترفیزیک دانان بر این باور اند که از ابرهای غبار این سحابی در چند میلیون سال آینده دهها ستاره سر بر خواهند آورد.



سحابی خرچنگی، M1، در صورت فلکی ثور. فاصلهٔ آن از زمین ۳۶۰۰ سال نوری است. منجمان بر این نظر اند که انرژی ای که از این سحابی تشعشع می شود از تپ اختری نشأت می گیرد که از یک انفجار ابرنواختری در سال ۱۰۵۴ میلادی به جا مانده است و در سحابی جای دارد. دورهٔ تناوب این تپ اختر ۰٫۰۳۳ ثانیه است. تپ اختر چشمهٔ رادیویی تپنده‌ای است وابسته به یک ستاره نوترونی.



بازماندهٔ ابرنواختر وِلا (بادبان) در نور مرئی. این انفجار ابرنواختری در حدود یازده هزار سال پیش در ستاره ای از صورت فلکی بادبان روی داد. لایه های بیرونی ستاره در این انفجار در برخورد با مادهٔ میان‌ستاره‌ای، موج ضربه‌ای را پدید آورد که هنوز هم مشهود است.

ساختار رشته مانند این موج ضربه در طول موج های پرتو X، گستره ای در حدود یک صد سال نوری را فرا-می گیرد. در دل بقایای ابرنواختری ولا، تپ اختری است که در هر ثانیه بیش از ده بار دوران می کند.

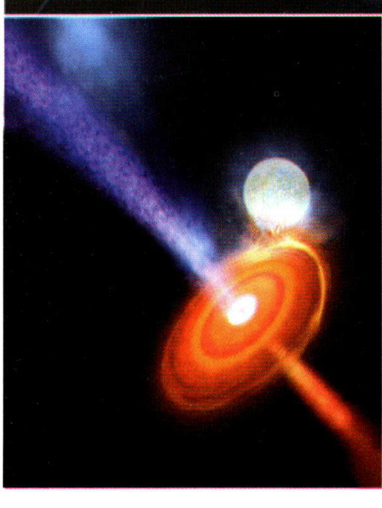


دو تصویر از ابرنواختر SN۱۹۸۷A، پیش و پس از وقوع انفجار ابرنواختری. این انفجار در سال ۱۹۸۷، در ابر بزرگ ماژلان مشاهده شد و نزدیکترین ابرنواختری است که در ادوار جدید شاهد بوده ایم (تصویر از رصدخانهٔ انگلیس- استرالیا).



حلقه های مرموز ابرنواختر SN۱۹۸۷A. چه چیزی باعث این حلقه های عجیب در این ابرنواختر است؟ این حلقه ها نخستین بار در ۱۹۹۴ با تلسکوپ فضایی هابل مشاهده شد و هنوز دلیل قابل قبولی از منشاء این حلقه ها در دست نیست. حدس زده می شود که آن ها ناشی از باریکه(جت)هایی است که از ستارهٔ چگال مرکزی بیرون آمده و با بادهای ستاره ای یونیده آمیخته اند(تصویر از تلسکوپ فضایی هابل و ناسا).





چون ستاره‌ای همهٔ سوخت هسته‌ای خود را به مصرف برساند، بر اثر نیروهای گرانشی شروع به انقباض می کند. سرنوشت نهایی آن بسته به جرم آن است: اگر جرم اش به قدر کافی زیاد باشد، دستخوش انفجاری ابرنواختری می گردد و هستهٔ باقیماندهٔ آن ستاره‌ای نوترونی را به‌وجود می‌آورد (نگاه کنید به تصویر سحابی خرچنگی). اگر جرم این هسته بیش از ۲ یا ۳ برابر جرم خورشید باشد، نیرویی وجود نخواهد داشت که در برابر گرانش مقاومت کند. ستاره فرو می‌ریزد و به سیاه‌چاله تبدیل می‌شود که هیچ ماده یا اشعه‌ای نمی‌تواند از چنگ آن بگریزد.

ستارهٔ عجیب SS ۴۳۳، شاید سیاه‌چاله‌ای باشد که قرص برافزایش آن نسبت به صفحهٔ مدار ستارهٔ ندیم، مورب است(عکس از مجله Astronomy).



این دوردست ترین تصویری است که تا کنون ، در نور مرئی ، از عالم گرفته شده است و «میدان بسیار دور دست هابل» (HUDF) نام گرفته است . در این تصویر، برخی از کهنسال ترین کهکشانها، که سنی در حدود ۱۳ بیلیون سال دارند، دیده می شود. این عکس با دوربین های NICMOS و ACS تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است که تقریبا به مدت سه ماه به قسمت خاصی از آسمان خیره شدند . منجمان سراسر جهان تا سالهای سال برای پی بردن به چگونگی تکوین کهکشانها از HUDF بهره خواهند برد (تلسکوپ فضایی هابل).



ستاره‌های بخش مرکزی کهکشان، در امتداد صورت فلکی قوس. بخش مرکزی کهکشان به دلیل وجود ابرهای غبار و گاز از دید مرئی پنهان است. این عکس در واقع موزاییک تعداد زیادی عکس های کوچکتر است که با دوربین های فروسرخ تلسکوپ فضایی اسپیتزر گرفته شده است . رنگ تصویر، کاذب (false color)است. مرکز کهکشان از ما ۲۶,۰۰۰ سال نوری فاصله دارد .



ستارگان نوزاد در ابر کوچک ماژلان. ابر کوچک ماژلان که از اقمار کهکشان ما است، کهکشان کوچکی است در نیمکره جنوبی آسمان. در این تصویر گروهی ستاره نوزاد در حال تکوین از ابرهای گاز رمبنده، دیده می‌شود (تلسکوپ فضایی هابل).

ابر بزرگ ماژلان، پرنورترین کهکشانی است که با چشم برهنه می توانیم ببینیم. این کهکشان یکی از یازده کهکشان کوتوله ای است که برگرد کهکشان ما می گردند و در واقع اقمار آن بشمار می آیند. ابر بزرگ ماژلان کهکشانی است نامنتظم که در نیمکره جنوبی زمین مرئی است . سه بخش متمایز در آن می توان تشخیص داد : میله ای که متشکل از ستاره های سرخ پیر است؛ ابرهایی در اطراف که از ستاره‌های آبی جوان تر تشکیل شده است؛ و ناحیه ای در بالا موسوم به سحابی تارانتولا.





کهکشان بزرگ امرأة المسلسله، M۳۱ . این موزاییک، بزرگترین‌تصویر CCD است که تاکنون از این کهکشان مارپیچی گرفته شده است(رصد خانه نایت هاوک). کهکشان امرأة المسلسله بزرگترین عضو گروه محلی است و درخشندگی کل آن دست کم دو برابر درخشندگی کهکشان ما است.



کهکشان مارپیچی در صورت فلکی مثلث، M ۳۳. این تصویر موزاییکی از شش نما است با زمان نور دهی ۲۲ ساعت. این کهکشان، به گروه محلی تعلق دارد و به فاصلهٔ ۲,۶۰۰,۰۰۰ سال نوری از ما است. بازوهای مارپیچی باز آن از هسته‌ای نسبتاً کوچک منشعب می شوند.



کهکشان مارپیچی میله‌ای NGC۱۳۰۰ درصورت فلکی نهر. این تصویر که اخیراً توسط تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است، جزئیات حیرت‌آوری از میله مرکزی و بازوهای زیبای آن را آشکار می‌سازد. فاصله آن بالغ بر ۷۰ میلیون سال نوری، و قطر آن بیش از ۱۰۰ هزار سال نوری است.



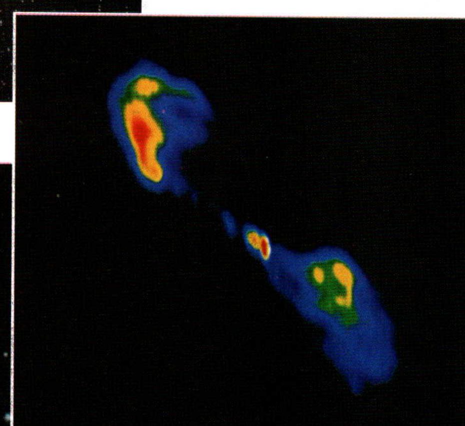
کهکشان مارپیچی M۵۱ وندیم آن NGC ۵۱۹۵ که در فاصله ۲۰ میلیون سال نوری از ما قرار دارند . در این تصویر ، سحابی های موجود در بازوهای مارپیچی را به وضوح می توان دید. ندیم کوچکتر هر ۵۰۰ میلیون سال یک بار کهکشان بزرگتر را دور می زند (تصویر از تلسکوپ گالیله).



پنج‌تایی استفان. گروه فشرده‌ای متشکل از چهار کهکشان که کهکشانی پرنور در پیش زمینهٔ آنها قرار دارد و در سال ۱۸۷۷ توسط م. استفان کشف شد. ریخت فیزیکی سه کهکشانی که در این تصویر آمده، بر اثر بر هم کنش متقابل آنها، به‌شدت دگرگون شده است. برخورد و گریز آن ها از هم سبب شده است که قسمتهایی از بازوهای مارپیچی از هم گسیخته وبه فضا پرتاب شده‌اند. پنج تایی استفان در صورت فلکی فرس اعظم است (تلسکوپ فضایی هابل).



قنطورس A نزدیکترین کهکشان رادیویی به ما است. جت‌های رادیویی آن، عمود بر جاده تاریک غبار کهکشان، بیرون زده‌اند. به تصویرهای سمت راست و زیرین نگاه کنید.





فصل ۱۰

کهکشان‌ها

قسمت اول: کهکشان ما

۱۰-۱ مقدمه

خورشید و دویست بیلیون ستارهٔ دیگر، به اضافهٔ مقدار زیادی مادهٔ میان‌ستاره‌ای، به اضافهٔ تعداد زیادی سحابی، ساختار بسیار بزرگی را می‌سازند که به کهکشان ما (راه شیری یا راه کاهکشان) موسوم است.

مطالعهٔ توزیع ستاره‌ها در کهکشان ما نشان داده است که این مجموعهٔ عظیم به قرص کم و بیش پهن شده‌ای شباهت دارد. در حقیقت آن را اغلب اوقات به یک سنگ آسیاب عظیم یا یک عدسی دوسوکوژ تشبیه می‌کنند.

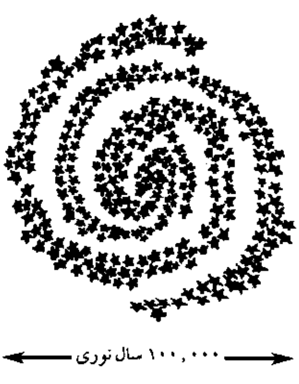
کهکشان ما، چون از بالا نگاه شود، دایره‌ای شکل به نظر می‌رسد و ستاره‌ها در آن الگویی مارپیچی را پدید می‌آورند. چون از کنار به آن نظر می‌شود، نازک بودن آن آشکار می‌گردد. به شکل‌های (آ) ۱-۱۰ و (ب) ۱-۱۰ نگاه کنید.

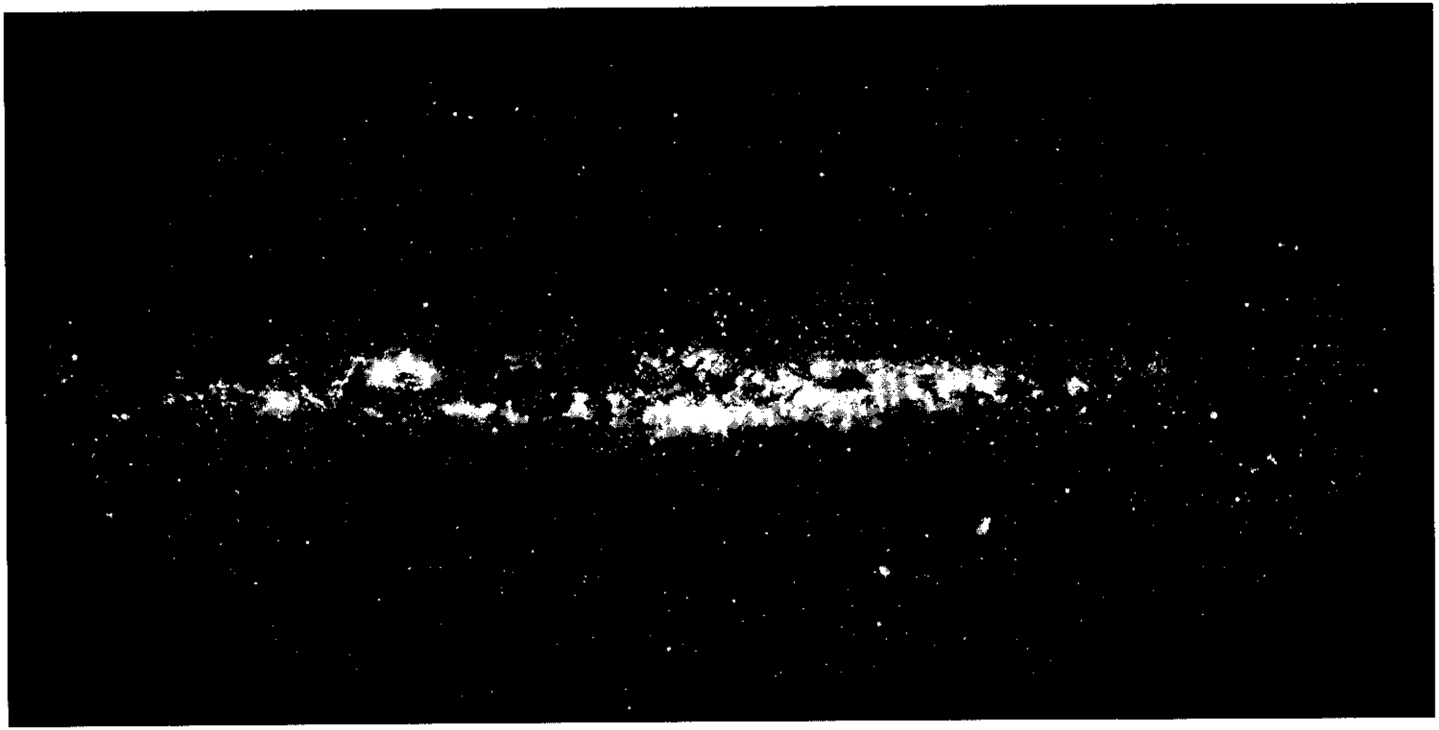
قطر کهکشان ما تقریباً ۱۰۰،۰۰۰ سال نوری است. حداکثر ضخامت آن در حدود ۱۰،۰۰۰ تا ۱۵،۰۰۰ سال نوری برآورد شده است.

خورشید با منظومهٔ سیاراتش، جایگاه بی‌اهمیتی را در آن اشغال می‌کند. منظومهٔ شمسی به فاصلهٔ تقریبی ۳۰،۰۰۰ سال نوری از مرکز و خیلی نزدیک به صفحهٔ استوای کهکشانی قرار گرفته است.

چون از سیارهٔ کوچک خود به این انبوه ستارگان نگاه کنیم، دو منظرهٔ متمایز خواهیم دید. به شکل (پ) ۱-۱۰ نگاه کنید. در امتداد موازی با قطب کهکشان (امتداد A)، به دلیل نازک بودن کهکشان، ستاره‌ها بر زمینه‌ای تاریک دیده می‌شوند. دید موازی با صفحهٔ استوای کهکشانی (امتداد B)، متفاوت است. ستاره‌های نزدیک‌تر بر نوار نورانی کمسویی (راه کاهکشان یا راه شیری)

شکل (آ) ۱-۱۰ دید کهکشان ما از بالا الگوی دایره‌ای شکل آن را آشکار می‌سازد. ستاره‌ها به طور یکنواخت در این سطح توزیع نشده‌اند. تجمع ستاره‌ها در مرکز کهکشان و در دو بازویی است که از دو سمت متقابل در بخش مرکزی شروع می‌شوند و آن را در بر می‌گیرند.





چشم‌انداز راه کاهکشان. این تصویر که از کنار هم نهادن تعداد زیادی عکس ساخته شده است، سرتاسر راه کاهکشان (راه شیری) را نشان می‌دهد. ۷ هزار از پرنورترین ستاره‌های کهکشان نیز بر آن رسم شده‌اند. دستگاه مختصاتی که برای تصویر کردن به کار رفته مناسب‌ترین دستگاه برای نشان دادن راه کاهکشان است. پرنورترین بخش راه کاهکشان در وسط صفحه است که ابرهای ستاره‌ای انبوه صورت فلکی قوس در آن قرار دارد. در نیمهٔ پایین، دو کهکشان کوچک درخشان دیده می‌شود که ابرهای کوچک و بزرگ ماژلان اند و در نیمکرهٔ جنوبی دیده می‌شوند.

دیده می‌شوند که محصول نور بیلیون‌ها ستارهٔ موجود در قسمت ضخیم کهکشان ما است. پس این نوار نورانی، از امتداد صفحهٔ استوای کهکشان ما حکایت می‌کند.

۲-۱۰ مطالعهٔ کهکشان ما به کمک شمارش ستاره‌ها

شکل و ابعاد کهکشان ما، بدواً از مطالعه تعداد ستاره‌ها به دست آمد.

تحقیقات منجم هلندی یاکوبوس کاپتین [1] (۱۹۹۲-۱۸۵۱) از نخستین تلاش‌هایی بود که در این راه انجام شد. روش او از چهار مرحله تشکیل می‌شد:

آ. تعیین تعداد نسبی ستارگان از هر قدر مطلق، در حول و حوش خورشید.

ب. قبول این که همین اعداد نسبی، یعنی همین ترکیب، در فضای دور از خورشید هم درست است.

پ. محاسبهٔ این که در هر امتداد چند ستاره از هر گروه باید وجود داشته باشد تا عده و قدرهای واقعی ستاره‌های آن زاویهٔ خاص توضیح داده شود و از این راه فاصله تا لبهٔ کهکشان در آن امتداد معلوم گردد.

ت. انجام همین محاسبه در همهٔ امتدادها تا شکل تقریبی کهکشان به دست آید. به شکل (ت) ۱-۱۰ نگاه کنید.

بررسی‌های جدید، تصحیحی را در محاسبات کاپتین به خاطر اثر مادهٔ میان- ستاره‌ای وارد می‌کند و شکل کهکشان به صورت یک عدسی دوسو- کوژ به قطر ۱۰۰،۰۰۰ سال نوری، به دست می‌یابد.

۳-۱۰ مطالعهٔ کهکشان ما به کمک خوشه‌های کروی

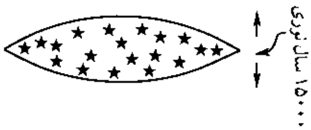
روش دیگر برآورد اندازهٔ کهکشان ما، روش مبتنی بر خوشه‌های ستاره‌ای کروی است. خوشهٔ کروی، چنان که از نامش برمی‌آید، انبوهی از ستارگان است که به شکل کره‌ای گرد هم آمده‌اند.

یکی از زیباترین خوشه‌های کروی، که به دشواری با چشم برهنه دیده می‌شود، M۱۳ در صورت فلکی جاثی است. مطالعات تلسکوپی آشکار می‌سازد که این خوشهٔ کروی احتمالاً از بیش از ۵۰۰،۰۰۰ ستاره تشکیل شده است که ۵۰،۰۰۰ آن را تک‌تک می‌توان شمرد. عدهٔ باقیمانده را فقط می‌توان تخمین زد، زیرا به قدری نزدیک به یکدیگرانند که شمردن آنها امکان‌پذیر نیست.

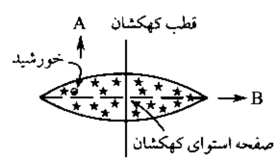
بسیاری از خوشه‌های کروی دارای ستاره‌های RR- شلیاقی اند. (در میان

[1] Jacobus Kaptayn

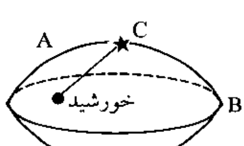
شکل (ب) ۱-۱۰ مشاهدهٔ کهکشان از کنار، نازک بودن نسبی آن را نشان می‌دهد.

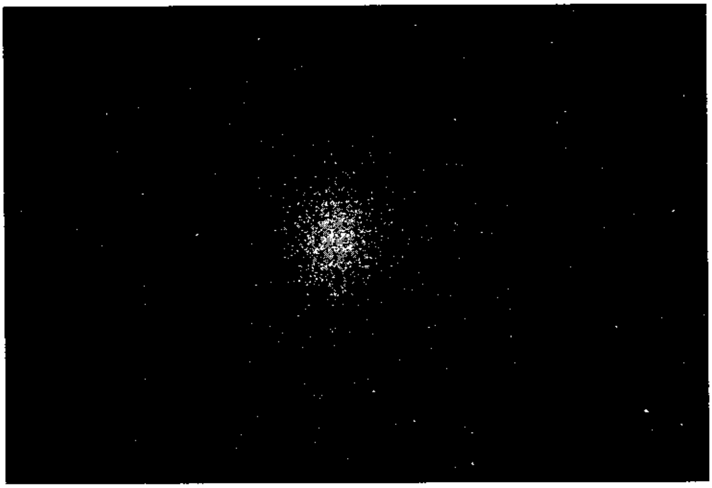


شکل (پ) ۱-۱۰ دو منظره از کهکشان. اگر از منظومهٔ شمسی در امتداد بعد کوچک‌تر (امتداد A) نظر شود، ستاره‌ها در زمینه‌ای تاریک دیده می‌شوند. در امتداد B ، ستاره‌های نزدیک در زمینهٔ راه کاهکشان دیده می‌شوند. درخشندگی راه کاهکشان یا راه شیری بر اثر تجمع نقاطی نورانی است که از ده‌ها بیلیون ستاره ایجاد شده‌اند. صفحهٔ استوای کهکشان، کهکشان را به طور افقی به دو پارهٔ برابر تقسیم می‌کند. محور کهکشان، عمود بر مرکز صفحهٔ استوای کهکشان است.

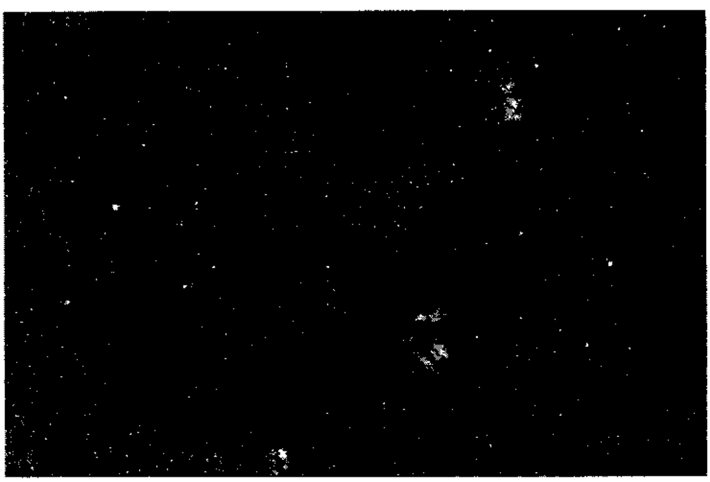


شکل (ت) ۱-۱۰ شکل حدود کهکشان ما. با محاسبهٔ فاصلهٔ خورشید از تعداد زیادی نقطه واقع بر کناره کهکشان (مثلاً نقاط A ، B و C) شکل کهکشان را می‌توان به دست آورد.





خوشهٔ کروی امگا قنطورس (NGC ۵۱۳۹) در صورت فلکی قنطورس. این خوشهٔ کروی احتمالاً پرجرم‌ترین خوشهٔ کروی شناخته‌شده در کهکشان ما است. در این خوشه ۱۰ میلیون ستاره در گستره‌ای به‌وسعت ۱۵۰ سال نوری به دور هستهٔ مرکزی می‌گردند. مطالعهٔ خوشه‌های کروی نه تنها اطلاعاتی در بارهٔ تاریخ و تحول کهکشان ما در اختیارمان قرار می‌دهد، بلکه محدودهٔ عمر عالم را نیز مشخص می‌کند.



ابرهای غبار و گاز همیشه مانعی در راه مطالعهٔ راه کاهکشان یا راه شیری بوده‌اند. در صفحهٔ کهکشان تنها می‌توان نزدیک‌ترین همسایگان را مستقیماً مشاهده کرد. راه کاهکشان در صورت‌های فلکی قوس و دجاجه ازهر جای دیگر پرنورتر است. مرکز کهکشان در امتداد صورت فلکی قوس است. عرض راه کاهکشان در این ناحیه °۴۰ است. عکس بالا راه کاهکشان را در این ناحیه نشان می‌دهد.

ستاره‌های خوشه‌های دیگر، متغیرهای قیفاوسی II هم یافت می‌شود). پیش‌تر دیدیم (بخش ۳۰-۷) که محاسبهٔ فاصلهٔ خوشه‌ای که یک متغیر RR - شلیاقی دارد چقدر آسان است. برای این کار از نکات زیر استفاده می‌کنیم.

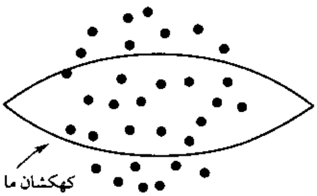
آ. فرمول $\log Dps = \frac{۱}{۵}(m\text{-}M)+۱$

ب. اطلاع از این که M برای یک ستارهٔ RR- شلیاقی همواره برابر ۶ر ۰+ است.

پ. به‌کاربردن مقدار متوسط قدرهای رصد شدهٔ ستاره به جای m.

مطالعهٔ فاصلهٔ بیش از یکصد خوشهٔ کروی معلوم کرده است که توزیع آن‌ها به صورت گویی گرداگرد کهکشان ما است و راه‌کاهکشان این گوی را به دو نیمه می‌کند. به شکل ۳-۱۰ نگاه کنید. قطر این گوی کاملاً با قطر راه کاهکشان (۱۰۰،۰۰۰ سال نوری) مطابقت دارد، و این امر، دانش ما از اندازهٔ کهکشان را تأیید می‌کند.

شکل ۳-۱۰ توزیع خوشه‌های ستاره‌ای کروی. تصویر نمادی این خوشه‌های کروی نشان می‌دهند که این خوشه‌ها در گویی بر گرد کهکشان توزیع شده‌اند. قطر این گوی برابر قطر راه کاهکشان است.



۱۰-۴ دوران کهکشان ما

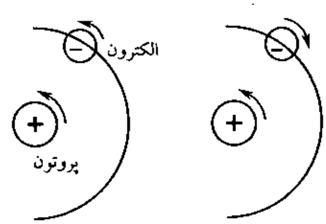
شکل کهکشان ما حاکی از آن است که دوران می‌کند؛ در واقع امکان ندارد که کهکشان بتواند بدون دوران به صورت یک قرص مسطح باقی بماند. محور دوران، عمود بر صفحهٔ استوای کهکشان است. این حرکت کلی کهکشان، بر حرکات انفرادی ستاره‌های آن افزوده می‌شود؛ و از این لحاظ به دوران زمین بر گرد محورش شباهت دارد، در حالی که انواع گوناگون حرکت بر سطح آن صورت می‌پذیرد. ولی تفاوت بزرگی میان این دو دوران موجود است. کهکشان به صورت یک جسم صلب دوران نمی‌کند. ستاره‌ها به دور مرکز کهکشان، کم و بیش چون سیارات بر گرد خورشید دوران می‌کنند؛ ستاره‌هایی که نزدیک به مرکز کهکشان اند با سرعت‌های مداری زیاد و ستاره‌هایی که دور از مرکز اند با سرعت‌های کم حرکت می‌کنند. سرعت مداری خورشید ۲۶۰ کیلومتر برثانیه است. چنین به‌نظر می‌رسد که ستاره‌های نزدیک به مرکز کهکشان، خورشید را پشت سر می‌گذارند. ستاره‌هایی که به کنارهٔ کهکشان نزدیک‌تر اند سرعت‌های کمتری دارند. ستاره‌های اخیر، نسبت به خورشید، در جهت عکس حرکت می‌کنند.

البته دورهٔ تناوب این حرکت‌های انتقالی به فاصلهٔ ستاره از مرکز بستگی خواهد داشت. ۲۲۴،۰۰۰،۰۰۰ سال طول می‌کشد تا خورشید یک دور کامل را بپیماید.

۵-۱۰ مطالعهٔ کهکشان ما به کمک تلسکوپ‌های رادیویی

مطالعهٔ امواج رادیویی ۲۱ سانتیمتری، که از ئیدروژن میان- ستاره‌ای گسیل می‌شود، بر دانش ما نسبت به ساختار کهکشان به میزان زیادی افزوده است.

شکل ۵-۱ وارو زدن الکترون. در سمت چپ، اسپین‌های الکترون و پروتون هم جهت اند (در خلاف جهت عقربه‌های ساعت). پس از آن که الکترون «وارو زد»، اسپین‌های الکترون و پروتون در خلاف جهت هم خواهد شد.



گوشزد: ئیدروژن خنثی وقتی تابشی به طول موج ۲۱ سانتیمتر گسیل می‌کند که اسپین الکترون آن تغییر جهت دهد.
انرژی اتم ئیدروژنی که اسپین الکترون آن هم‌جهت با اسپین پروتون باشد اندکی بیش از اتمی است که اسپین الکترون آن در خلاف جهت اسپین پروتون است. به شکل ۵- ۱۰ نگاه کنید. وقتی الکترون از آرایش نخست به آرایش دوم «وارو بزند»، یک کوانتوم انرژی الکترومغناطیسی گسیل می‌کند که طول موج آن ۲۱ سانتیمتر است.

مطالعهٔ توزیع ئیدروژن در کهکشان ما، اندازه و شکل آن را، به صورتی که از روش‌های پیشین به دست آمد، تأیید می‌کند.

تحقیقاتی که با استفاده از امواج ۲۱ سانتیمتری انجام شده حاکی از آن است که بخش عمدهٔ این ئیدروژن محدود به لایهٔ نسبتاً نازکی به قطر ۱۰۰۰ سال نوری است که ظاهراً در بعضی نواحی، خاصه در بازوهای مارپیچی، متمرکز است.

* ۶-۱۰ ساختار کهکشان ما

در یک تصویر کلی، کهکشان ما از سه قسمت تشکیل شده است:
(آ) صفحه کهکشان. (ب) هالهٔ کهکشان و (پ) هستهٔ کهکشان.

صفحهٔ کهکشان یا قرص کهکشان ناحیه‌ای است به قطر ۱۰۰،۰۰۰ سال نوری و ضخامت متوسط تقریباً ۲۰۰۰ سال نوری. خورشید، بازوهای مارپیچی، خوشه‌های کروی باز، گاز و غبار کهکشانی و ناحیه‌های HII (ئیدروژن یک‌بار یونیده) و ستاره‌های پرنور و جوان که فراوانی عناصر سنگین در آنها نسبتاً زیاد است، همه در قرص کهکشان جای دارند. وجود ستاره‌های جوان در قرص کهکشان، معلول وجود گاز و غبار در این ناحیه است. چنان که دیدیم ویژگی هندسی صفحه کهکشان، ساختار مارپیچی آن است که در میانهٔ قرن بیستم، به کمک مطالعات نجوم رادیویی کشف شد.

هالهٔ کهکشان ناحیه‌ای است که عمدتاً به وسیلهٔ خوشه‌های کروی اشغال شده است. این ناحیه کم و بیش شکلی کروی دارد و قطر آن در حدود یکصد هزار سال نوری است. در هالهٔ کهکشان علاوه بر خوشه‌های کروی، توزیع

پراکنده‌ای از ستاره‌های منفرد هم وجود دارد. هاله فاقد ناحیه‌های HII است. ستاره‌های هاله همگی ستاره‌هایی پیر، از ردهٔ سنی ۵ تا ۱۵ بیلیون سال و با فراوانی ناچیز عناصر سنگین اند.

هستهٔ کهکشان برآمدگی مرکزی کهکشان است که قطری در حدود ۱۰،۰۰۰ سال نوری دارد. غبار میان ستاره‌ای موجود در قرص کهکشان، رؤیت هسته کهکشان را در طول موج‌های مرئی ناممکن ساخته است. از این رو مطالعه هسته به روش‌های رادیویی و تابش X و گاما انجام می‌گیرد. وجود این تابش‌ها حکایت از وقوع رویدادهای قهرآمیز در مرکز کهکشان می‌کند. *

* ۷-۱۰ مادهٔ تاریک در هالهٔ کهکشان

بخش اعظم مادهٔ هالهٔ کهکشان ما (و کهکشان‌های دیگر) نامرئی است. این مادهٔ پنهان به صورت ستاره نیست. به صورت گاز هم نیست زیرا از طریق امواج رادیویی آشکار می‌شد. غبار هم نمی‌تواند باشد، چون نور کهکشان‌های دوردست را از لابلای هاله کهکشان می‌توان دید. منجمان وجود این مادهٔ پنهان را (که ماده‌تاریک نام گرفته است) از مدت‌ها پیش حدس می‌زدند. اما گمان نمی‌بردند که این قدر زیاد باشد! سرعت دوران ستاره‌های بیرونی در کهکشان ما و کهکشان‌های دیگر حکایت از وجود این مادهٔ پنهان می‌کرد. آهنگ دوران ستاره‌ها به دور مرکز یک کهکشان بستگی به توزیع ماده در کهکشان دارد. اما حرکت مشهود ستاره‌های بیرونی کهکشان‌ها تندتر از آن است که جرم کل اجرام مرئی و متعارف کهکشان‌ها جوابگوی آن باشد. اندازه‌گیری‌های متعدد سرعت ستاره‌ها دال بر آن است که در کهکشان ما (راه شیری)، نه‌دهم‌ماده، مادهٔ تاریک است. مسئلهٔ مادهٔ تاریک صرفاً گریبان‌گیر کهکشان ما نیست بلکه مسئلهٔ حل نشدهٔ همهٔ کهکشان‌ها و در واقع مسئلهٔ کل عالم است! (نگاه کنید به بخش ۲۱-۱۰). *

قسمت دوم: کهکشان‌های دیگر

۸-۱۰ مقدمه

کهکشان ما در عالم افلاک، تنها نیست. در عالم، احتمالاً بیش از ۱۰۰ بیلیون کهکشان وجود دارد. نام‌های گوناگون بر این کهکشان‌ها نهاده شده است. زمانی

آنها را جهان-جزیره[1] نامیدند (که منظور این است که جهان سراسر، آکنده از جزیره‌هایی شبیه راه کاهکشان است). سحابی برون- کهکشانی نام دیگر آنها بود(هرچند که آنها خود کهکشان‌هایی متشکل از ستاره‌های بسیار اند و سحابی نیستند).

برخی از کهکشان‌ها نسبتاً به ما نزدیک اند و بعضی بسیار دور.

۹-۱۰ ابر بزرگ ماژلان

کهکشانی که از همه به ما نزدیک‌تر است، ابر بزرگ ماژلان است که فاصلهٔ آن کمتر از ۱۵۰،۰۰۰ سال نوری است و با چشم برهنه در صورت فلکی ماهی طلایی نزدیک به قطب جنوب سماوی دیده می‌شود. به لحاظ شکل یک بیضوی نامنتظم است. ابعاد آن، به چشم، در حدود °۱۲ در °۴ است. در واقع طول قطر بزرگ آن ۳۰،۰۰۰ سال نوری است.

ابر بزرگ ماژلان حاوی اجرام جالب توجه زیادی است. از آن جمله در حدود ۱۵۰۰ متغیر قیفاوسی، بیش از یکصد چشمهٔ قوی و مجزای رادیویی و نیز سحابی بزرگ حلقه زده که نام دیگرش ۳۰-ماهی طلایی[2] است، شایستهٔ توجه است. ۳۰-ماهی طلایی بزرگ‌ترین سحابی گازی و بسیار بزرگ‌تر از سحابی بزرگ جبار است. روشنی فوق‌العادهٔ آن بسی آشکارتر می‌بود اگر در کهکشان ما جای می‌داشت. در واقع اگر ۳۰-ماهی طلایی به فاصلهٔ جبار از ما می‌بود، ۳۰ بار روشن‌تر از شعرای یمانی به نظر می‌رسید.

گوشزد: باید تأکید شود که ابر بزرگ ماژلان، نزدیک‌ترین سحابی برون-کهکشانی به ما، نه یک ابر است و نه یک سحابی؛ بلکه یک کهکشان است. یعنی جهان- جزیرهٔ بزرگی است مشتمل بر ستاره‌های نورانی، خوشه‌های ستاره‌ای کروی، سحابی‌ها و همهٔ اجرام دیگری که در کهکشان ما یافت می‌شود منجمله خود ما.

ستارهٔ S- ماهی طلایی در ابر بزرگ ماژلان، بی‌شک درخشان‌ترین ستارهٔ شناخته شده و یکی از ستارگان موسوم به «متغیرهای نامنظم» است. این ستاره به هنگام حداکثر روشنی ۶۰۰،۰۰۰ بار (و بنابر بعضی محاسبات ۲،۰۰۰،۰۰۰ بار) پرنورتر از خورشید است.

ابر بزرگ ماژلان با سرعتی بیش از ۲۵۰ کیلومتر در ثانیه از ما دور

1- Island Universe

2- 30-Doradus

می‌شود.

۱۰-۱۰ ابر کوچک ماژلان

فاصلهٔ تخمینی ابر کوچک ماژلان ۱۸۰،۰۰۰ سال نوری است که آن را اندکی دورتر از ابر بزرگ ماژلان قرار می‌دهد؛ با چشم برهنه در صورت فلکی توکان، نزدیک قطب جنوب آسمان دیده می‌شود. اما قطر آن فقط نصف قطر ابر بزرگ ماژلان است. باید به یاد داشت که مطالعهٔ قیفاوسی‌های آن به کشف منحنی دورهٔ تناوب - قدر مطلق انجامید. این «ابر» شامل تعداد زیادی ستارهٔ کم‌سو از قدر ۱۱ تا کم‌سوترین ستاره‌های شناخته شده است.

علاوه بر این یک یا چند ستارهٔ دوتایی پرتو-X نیز دارد.

گوشزد: یک دوتایی پرتو- X، یک جفت ستارهٔ نزدیک به هم است؛ یکی از این دو که رمبیده و منقبض شده است (ستاره نوترونی؟) و اواخر دور زندگی خود را می‌گذراند، از ندیم خود، ماده جذب می‌کند. این ماده، هنگام نزدیک شدن به ستارهٔ بسیار داغ در حال انقباض، پرتو X گسیل می‌کند.

سرعت دور شدن ابر کوچک ماژلان به اندازه قابل ملاحظه‌ای کمتر از سرعت ابر بزرگ ماژلان و تقریباً برابر ۱۶۰ کیلومتر در ثانیه است. ابرهای بزرگ و کوچک ماژلان را اغلب اوقات، اقمار کهکشان ما به شمار می‌آورند.

۱۰-۱۱ گروه محلی کهکشان‌ها

چنین به نظر می‌رسد که راه‌کاهکشان یکی از اعضاء مجموعه‌ای از کهکشان‌ها موسوم به گروه محلی است.

کهکشان ما در یک سر این مجموعه است و M۳۱، کهکشان صورت امرأة‌المسلسله در سرِ دیگر. در این گروه ۲۳ کهکشان وجود دارد. درخشندگی بیشتر این کهکشان‌ها اندک است و تنها به دلیل نزدیکی آن‌ها است که دیده می‌شوند.

برخی از اعضاء گروه محلی در جدول ۱۱-۱۰ آمده‌اند.

جدول ۱۱-۱۰

نام	نوع	فاصله (برحسب سال نوری)
کهکشان ما	مارپیچی	۰
ابربزرگ ماژلان	نامنتظم	۱۵۰،۰۰۰
ابر کوچک ماژلان	نامنتظم	۱۸۰،۰۰۰
M۳۱، امرأةالمسلسله	مارپیچی	۲،۰۰۰،۰۰۰
M۳۲، قمر امرأةالمسلسله	بیضوی	۲،۰۰۰،۰۰۰
NGC ۲۰۵، قمر امرأةالمسلسله	بیضوی	۲،۰۰۰،۰۰۰
M۳۳، مثلث	مارپیچی	۲،۰۰۰،۰۰۰

۱۰-۱۲ کهکشان اِمرأةالمُسلسله

در گروه محلی کهکشان‌ها، کهکشان بزرگ امرأةالمسلسله (که به M۳۱ یا NGC۲۲۴ نیز معروف است) شایستهٔ توجه خاص است- توجهی که معلول شباهت بسیار زیاد آن به کهکشان ما است و دربارهٔ آن اطلاعاتی در اختیار ما قرار می‌دهد.

این کهکشان، اگرچه بزرگ‌تر از کهکشان ما است (تقریباً دوبرابر)، ولی از فاصلهٔ ۲،۵۰۰،۰۰۰ سال نوری چون لکهٔ ابر مانند کم‌سویی از قدر ظاهری ۳ر۴ به چشم برهنه می‌آید.

زیبایی این کهکشان در عکس‌هایی آشکار می‌شود که با زمان عکسبرداری طولانی گرفته شده‌اند. در این عکس‌ها کهکشان چون قرص بیضوی کم ضخامتی به نظر می‌رسد که با خط دید زاویهٔ °۱۵ می‌سازد. مرکز بیضی، فوق‌العاده پرنور است و با دو بازوی مارپیچی احاطه شده است که بیش از چهار بار هسته را دور می‌زنند. بازوها شامل تعداد زیادی سحابی است.

تفکیک بازوهای مارپیچی به ستارگان منفرد مدت‌ها پیش در ۱۹۲۳ صورت گرفت، اما تلاش‌هایی که برای تشخیص ستاره‌های مجزا در بخش مرکزی به عمل آمد تا بیست سال بعد از آن، نافرجام ماند. مرکز کهکشان در همهٔ عکس‌ها به صورت تودهٔ روشنی بود بدون هیچ گونه جزئیات.

تودهٔ روشن مرکزی در ۱۹۴۳ با موفقیت تفکیک شد. برای این کار به جای صفحات عکاسی معمولی که تا آن زمان به کار برده می‌شد و نسبت به نور آبی حساس بود، از نوع جدیدی صفحهٔ عکاسی که نسبت به نور سرخ حساس است استفاده شد. بر روی این نوع جدید صفحات عکاسی، ستاره‌ها به وضوح تمام به واحدهای متمایزی تفکیک شدند. این کشف پیامدهای تازه‌ای نیز

داشت که مهم‌ترین‌شان این بود که ستاره‌ها را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد: جمعیت‌های ستاره‌ای I و جمعیت‌های ستاره‌ای II.

ستاره‌های جمعیت I معمولاً در بازوهای کهکشان‌های مارپیچی و نیز در کهکشان‌های نامنتظم نظیر ابرهای ماژلان یافت می‌شوند. صفت ممیزهٔ این گروه از ستارگان این است که رنگ آنها آبی و دمای سطحی آنها زیاد است.

ستاره‌های جمعیت II معمولاً در خوشه‌های کروی، کهکشان‌های بیضوی و نیز در مراکز کهکشان‌های مارپیچی یافت می‌شوند. پرنورترین ستاره‌های این گروه، آبی رنگ و سوزان نیستند بلکه سرخ و سرد اند.

در کهکشان امرأةالمسلسله صدها نواختر کشف شده است که بیشتر آنها در نزدیکی مرکز کهکشان است. اما چیزیِ که شایستهٔ توجه خاص است ابرنواختری است که در ۱۸۸۵ مشاهده شد.

این کهکشان با سرعتی نزدیک به ۳۰۰ کیلومتر در ثانیه به خورشید نزدیک می‌شود، ولی بخش اعظم این سرعت مربوط به دوران کهکشان خود ما است که منظومهٔ شمسی را با سرعت نزدیک به ۳۲۰ کیلومتر در ثانیه به کهکشان امرأةالمسلسله نزدیک می‌کند.

۱۳-۱۰ کهکشان‌های دوردست

بیست‌وسه کهکشانی که گروه محلی را تشکیل می‌دهند، جز کسر ناچیزی از همهٔ جهان- جزیره‌هایی که شمارشان به بیش از ۱۰ هزار میلیون برآورد می‌شود نیستند.

تلسکوپ ۵ متری کوه پالومار می‌تواند کهکشان‌هایی را رصد کند که تا ۲ بیلیون سال نوری از ما فاصله دارند. در این فاصله بیش از ۲ هزار میلیون کهکشان وجود دارد.

تکنیک‌های جدیدی برای کسر و حذف اثرهای مربوط به آسمان شب در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ ابداع شد که درآنها از جستجوگرهای لامپ تصویر و دوربین‌های CCD (به بخش ۲۴-۵ نگاه کنید) و رایانه (کامپیوتر) استفاده می‌شود. دانشمندان توانسته‌اند با ترکیب دوربین‌های CCD و رایانه کهکشان‌هایی در فواصل بیش از ده هزار میلیون سال نوری بیابند، در این کار از تلسکوپ فضایی هابل و تلسکوپ‌های کک استفاده شده است.

* کهکشان‌ها به طرزی تصادفی در فضا توزیع نشده‌اند، بلکه دسته دسته، گروه‌ها یا مجموعه‌هایی را تشکیل می‌دهند که از چند ده تا هزاران کهکشان را شامل می‌شوند. گروه محلی، مجموعه کهکشانی کوچک و کم تعدادی است.

فراتر از گروه محلی، نزدیک‌ترین مجموعهٔ کهکشانی، مجموعهٔ سنبله است که بیش از دو هزار کهکشان دارد. فاصله‌اش از ما، ۷۵ میلیون سال نوری است. سه کهکشان بیضوی غول‌آسا، M۸۴، M۸۶، M۸۷ در این مجموعه اند.

مجموعهٔ کهکشانی گیسوان برنیس، در سمت صورت فلکی گیسوان برنیس، مجموعهٔ عظیمی است از هزاران کهکشان و فاصله‌اش از ما ۳۵۰ میلیون سال نوری است.*

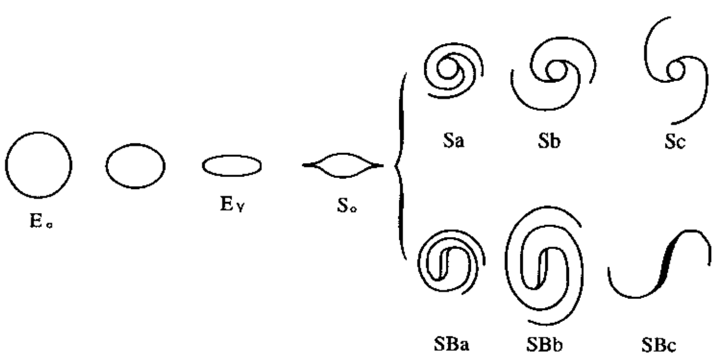
۱۴-۱۰ طبقه‌بندی کهکشان‌ها

آ. نامنتظم. نمونهٔ این کهکشان‌ها ابرهای ماژلان است. این کهکشان‌ها شکل هندسی ساده یا الگوی واضحی ندارند.

ب. بیضوی. این کهکشان‌ها به صورت قرص‌هایی کم و بیش مسطح اند. در آنها ۱ چ بازوی مارپیچی تشخیص داده نمی‌شود. تقریباً ۲۵ درصد همهٔ کهکشان‌ها از این گروه اند. کهکشان M۸۷ در صورت فلکی سنبله از این گونه است. حدس زده می‌شود که مرکز این کهکشان حاوی سیاه چالهٔ غول‌آسایی باشد.

پ. مارپیچی. نمونهٔ این کهکشان‌ها، کهکشان امرأةالمسلسله و کهکشان خودمان است.

کهکشان‌های مارپیچی معمولاً به دو زیرگروه تقسیم می‌شوند: (آ) مارپیچی‌های عادی و (ب) مارپیچی‌های میله‌ای. در مورد مارپیچی‌های عادی، دوبازو بی‌واسطه از هستهٔ کهکشان، پیچش خود را شروع می‌کنند. در مورد مارپیچی‌های میله‌ای، دو بازو نخست به خط مستقیم از مرکز خارج می‌شوند و سپس به پیچیدن می‌آغازند. به شکل ۱۴-۱۰ نگاه کنید.



شکل ۱۴-۱۰ طبقه‌بندی کهکشان‌ها. انواع متداول‌تر کهکشان‌ها ساختاری منظم دارند. کهکشان‌های بیضوی با حرف E، کهکشان‌های مارپیچی با حرف S و کهکشان‌های مارپیچی میله‌ای با حروف SB نموده می‌شوند. تقسیم‌بندی فرعی هریک نیز در شکل نشان داده شده است. کهکشان‌های بیضوی، از کروی تا بیضوی پخ، به هشت گروه E۰ تا E۷ تقسیم می‌شوند. کهکشان‌های مارپیچی را، بسته به میزان باز بودن بازوها، دسته‌بندی کرده‌اند. S۰ گروهی را مشخص می‌کند که در حد فاصل بیضوی و مارپیچی است.

۱۰-۱۵ کهکشان‌های رادیویی

همهٔ کهکشان‌ها امواج رادیویی گسیل می‌کنند. ولی برخی گسیلنده‌هایی فوق‌العاده قوی اند که صدها هزار برابر بیش از کهکشان‌های معمولی، امواج رادیویی به فضا می‌فرستند.

از چشمه‌های فوق‌العاده قوی یکی A ۴۰ N ۱۹ (۱۹ یعنی بعد ۱۹ ساعت، N معرف کاتالوگ کاتالوگ اتحادیه بین‌المللی نجوم و A ۴۰ به معنی میل °۴۰ شمالی و حروف ترتیب A) است که نام متداول آن دجاجه A است. شدت تابش آن از مرتبهٔ ۱۰ میلیون برابر کهکشان ما یا کهکشان بزرگ امرأةالمسلسله است.

زمانی مطرح شد که این شدت‌های عظیم تابش در نتیجهٔ برخورد دو کهکشان با هم است ولی مطالعات آماری دال بر آن اند که احتمال چنین برخوردهایی نزدیک به صفر است.

در حال حاضر بهترین تعبیر این است که این گسیلش رادیویی از ابرهای گازی می‌آید که منشأ آنها انفجارهایی در نواحی مرکزی کهکشان‌های بیضوی غول‌پیکر است؛ انفجارهایی که احتمالاً یک میلیون مرتبه شدیدتر از انفجار ابرنواختری اند. این ابرهای گاز، که غالباً دوبه‌دو اند، با میدان‌هایی مغناطیسی که ده‌ها هزار سال نوری از بخش روشن کهکشان فاصله دارند، به کنش متقابل می‌پردازند، و موجب گسیل شدید امواج رادیویی می‌شوند.

* ۱۰-۱۶ کهکشان‌های فعال

این کهکشان‌ها، مقدار عظیمی انرژی از ناحیهٔ کوچک مرکزی خود، که هسته نامیده می‌شود، گسیل می‌کنند. از این رو نام دیگر آنها، هسته‌های کهکشانی فعال (به اختصار AGN) است. این نام، مشتمل بر انواع کهکشان‌های پرانرژی است: کهکشان‌های سی‌فرت[1]، اجرام BL- سوسمار[2]، و اخترنماها[3]. تصور می‌شود که چشمه انرژی عظیم همهٔ این اجرام، سرریز ماده به سیاه‌چاله‌ای بسیار پرجرم در مرکز کهکشان فعال است.

کهکشان M۸۷ در مجموعهٔ کهکشانی سنبله به فاصلهٔ ۵۰ میلیون سال نوری از ما قرار دارد. این کهکشان غول‌آسا که نزد اخترشناسان رادیویی به سنبله-A موسوم است. نه‌تنها نیرومندترین چشمهٔ رادیویی سنبله است. از چشمه‌های قوی پرتو X هم به شمار می‌رود. قطر ناحیهٔ فعال مرکزی M۸۷ فقط ۴۵ روز نوری است. مدار ستاره‌های این ناحیهٔ مرکزی تحت سیطرهٔ جرم

1- Seyfert
2- BL Lac Objects
3- Quasars

عظیمی است که ۵ بیلیون برابر جرم خورشید است.

کهکشان بیضوی قنطورس A در نیمکرهٔ جنوبی، کهکشان فعالی است که از هستهٔ آن تابش X و رادیویی، به شدت تمام گسیل می‌شود.

بیشتر کهکشان‌های فعال رادیویی، شکلی بیضوی یا نامنتظم دارند. اما در مرکز برخی از کهکشان‌های مارپیچی نزدیک هم یک هستهٔ فعال پرنور را می‌توان تشخیص داد. این کهکشان‌ها، کهکشان‌های سی‌فرت نام دارند. در حدود یک هزار کهکشان سی‌فرت شناخته شده است.*

۱۷-۱۰ اخترنماها (چشمه‌های رادیویی شبه اختری)

* کهکشان‌های سی‌فرت نسبتاً به ما نزدیک اند. کهکشان‌های رادیویی، البته از آنها دورتر اند ولی دور از ما نیستند. اخترنماها ساکنان دوردست عالم اند. چشمه‌هایی ظاهراً نقطه‌ای اند که تابش بسیار شدید رادیویی گسیل می‌کنند. آنها را چشمه‌های رادیویی شبه ستاره‌ای یا اخترنماها (کوازارها) هم می‌نامند. هزاران اخترنما شناسایی شده‌اند و تقریباً همهٔ آنها به فاصلهٔ چند بیلیون سال نوری از ما قرار دارند.*

نسبت به اطلاعات زیر دربارهٔ اخترنماها اطمینان یافته‌ایم:

آ. قطر زاویه‌ای اخترنماها بسیار کم است. قطر زاویه‌ای بیشتر آنها در حدود ۱ر۰ تا ۲ر۰ ثانیهٔ قوس است. قطر زاویه‌ای بعضی از آنها کمتر از ۰۰۱ر۰ ثانیه است.

ب. انتقال‌به‌سرخ اخترنماها بسیار بزرگ (به بخش ۱۸-۱۰ نگاه کنید) است که حاکی از سرعت‌های گریزی در حدود ۹۰ درصد سرعت نور است. بنابراین، مطابق قانون هابل (به بخش ۱۸-۱۰ نگاه کنید)، اخترنماها در فواصل عظیمی از ما قرار دارند. ممکن است که اخترنماها دوردست‌ترین اجرام جهان باشند.

پ. منجمان از روی قطرهای زاویه‌ای و مقادیر فاصله، قطر خطی اخترنماها را محاسبه کرده‌اند؛ قطر برخی کمتر از ۵ سال نوری است.

ت. به کمک بزرگ‌ترین تلسکوپ‌های نوری موجود، معلوم شده است که بسیاری از اخترنماها بر اجرام مرئی منطبق اند.

ث. با قرار دادن مقادیر مشاهده شدهٔ قدرهای ظاهری بصری (m) و مقادیر محاسبه شدهٔ فواصل اخترنماها بر حسب پارسک (Dps) در فرمول $M = m + 5 - 5 \log D$ps مقادیر قدر مطلق M و درخشندگی این اجرام مرئی تعیین شده است. به این ترتیب اخترنمای ۳C۲۷۳ (شماره ۲۷۳ در سومین کاتالوگ

دانشگاه کمبریج) که قدر ظاهری بصری آن، در فاصله ۵ر ۱ هزار میلیون سال نوری، ۷ر ۱۲+ است، قدر مطلقی برابر با ۲۶- دارد!

البته معنی $M=-$۲۶ این است که اگر ۳C۲۷۳ به فاصلهٔ ۱۰ پارسکی آورده شود تقریباً به روشنی خورشید خواهد بود. قدر ظاهری خورشید ۷ر ۲۶- است.

ج. شدت امواج رادیویی اخترنماها متجاوز از یک میلیون برابر شدت امواج رادیویی کهکشانی چون کهکشان امرأةالمسلسله است.

این داده‌ها و اطلاعات مشابه سؤال زیرین را مطرح می‌سازد:

چگونه جسمی چنین کوچک، که قطر آن فقط چند سال نوری است، چنین انرژی زیادی را هم در طول موج‌های رادیویی و هم در طول موج‌های مرئی، تولید می‌کند؟ یا به عبارت دیگر با چه سازوکاری یک اخترنمای «کوچک» می‌تواند انرژیی تولید کند که بیش از پرنورترین کهکشان‌ها است، کهکشان‌هایی که قطرشان صدها هزار سال نوری است؟

* امروزه منجمان بر این باور اند که اخترنماها دورترین و پر نورترین نوع هسته‌های فعال کهکشانی اند. انرژی عظیم آنها از ناحیه‌ای به اندازه منظومه شمسی، گسیل می‌شود. این انرژی هزار برابر انرژی همه ستاره‌های کهکشان ما است. بهترین توضیحی که منجمان ارائه کرده‌اند این است: اخترنما سیاه‌چاله‌ای بی‌اندازه پرجرم است، یک‌صد میلیون برابر جرم خورشید در قلب کهکشان. این سیاه‌چاله، ستاره‌ها و مواد کهکشان گرداگردش را می‌بلعد و در این کار انرژی عظیمی را که به آن اشاره کردیم، تولید می‌کند. رصدهایی که با تلسکوپ فضایی هابل انجام شده است، از ارتباط اخترنماها با کهکشان‌های نزدیک به آنها حکایت می‌کند. این کهکشان‌ها در اثر گرانش شدید اخترنما، به شدت تغییر شکل یافته و معوج شده‌اند. *

۱۸-۱۰ جابه‌جایی خطوط طیفی به سمت رنگ سرخ

کیفیت شایان توجهی که به انتقال‌به‌سرخ معروف است، در همهٔ کهکشان‌ها دیده می‌شود. یادآور می‌شویم که منظور از انتقال‌به‌سرخ این است که همهٔ خطوط طیفی از مکان‌های عادی خود به مواضع جدیدی که به انتهای سرخ طیف نزدیک‌تر است، انتقال یافته‌اند. این جابه جایی به انتقالی دوپلری تعبیرمی‌شود که حاکی از دور شدن کهکشان‌ها از زمین است.

مطالعات بعدی انتقال‌به‌سرخ این واقعیت را روشن ساخت که میان سرعت دور شدن و فاصلهٔ کهکشان نسبتی وجود دارد. هرچه کهکشان از زمین دورتر

باشد، با سرعت بیشتری دور می‌شود (قانون هابل). نسبت سرعت به فاصله، به ثابت هابل موسوم است و مقدار آن ۱۰۰ کیلومتر بر ثانیه برای هر مگاپارسک است (یک مگاپارسک یک میلیون پارسک یا تقریباً ۳٫۲۵ میلیون سال نوری است). بنابراین کهکشانی که به فاصلهٔ ۲۰ مگاپارسک از کهکشان ما است با سرعت ۲۰۰۰ کیلومتر در ثانیه از ما دور می‌شود. تصحیح مربوط به حرکات تصادفی کهکشان‌ها باید در این رقم منظور گردد. این تصحیح به ویژه در مورد کهکشان‌های نزدیک دارای اهمیت است. در مورد بعضی از کهکشان‌های نزدیک حرکت تصادفی به سمت ما از سرعت دور شدن پیشی می‌گیرد و حرکت منتجه به سمت کهکشان ما است.

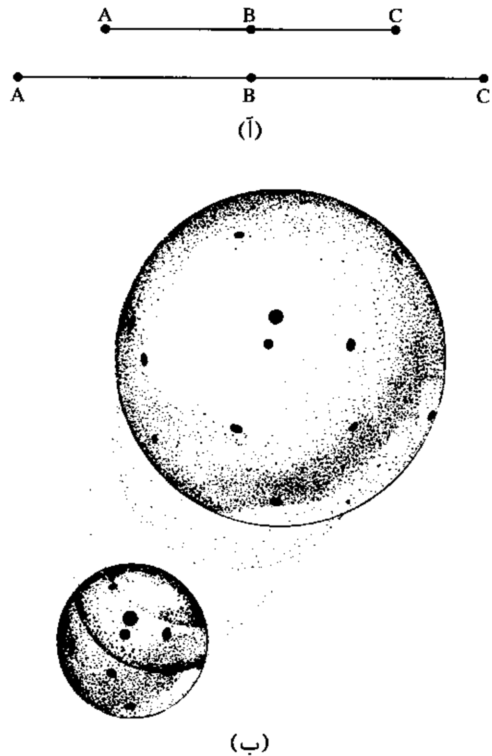
توضیح این نکته که چرا همهٔ کهکشان‌ها از زمین یا از کهکشان بی‌اهمیت ما، دور می‌شوند دشوار بوده است. توضیحی که امروزه مورد قبول است، به مفهوم جهان در حال انبساط مربوط می‌شود.

۱۰-۱۹ انبساط عالم

این مفهوم حکایت از آن دارد که کهکشان‌ها نه تنها از کهکشان ما دور می‌شوند بلکه هر کهکشانی از هر کهکشان دیگر دور می‌شود. این افزایش فاصله کهکشان‌ها معلول این است که تمامی عالم در حال انبساط است و فاصلهٔ بین هر دو کهکشان به آهنگ ثابتی افزایش می‌یابد.

مثالی یک بعدی ممکن است به روشن کردن این مفهوم کمک کند. فرض کنید یک کش ۱۰ سانتیمتری را در سه نقطهٔ A، B و C علامت‌گذاری کنیم؛ A و C در دو سر کش و B در وسط کش به فاصله ۵ سانتیمتر از دو سر آن قرار دارند. یعنی: ۵ سانتیمتر = AB= BC . حال فرض کنید که کش را از دو سر می‌کشیم تا طول آن ۱۶ سانتیمتر شود. در این صورت: ۸ سانتیمتر= AB=BC. فرض کنید که کش با آهنگ ثابتی به مدت ۲ ثانیه کشیده شده باشد. در این صورت به نظر می‌رسد که B از C با سرعت ۱٫۵ سانتیمتر در ثانیه دور می‌شود و فاصله C از A به سرعت ۳ سانتیمتر در ثانیه افزایش می‌یابد. پس اگر A کهکشان ما باشد و B و C کهکشان‌های مجاور، به نظر می‌رسد که C با سرعتی دو برابر سرعت B از ما دور می‌شود. به شکل ۱۹-۱۰ نگاه کنید.

نظریهٔ جهان در حال انبساط، محاسبهٔ عمر جهان را برای ما میسر می‌سازد. به فرض آن که انبساط همیشه با سرعت کنونی صورت گرفته باشد، می‌توان زمان شروع انبساط را تعیین کرد: در حدود ۱۰ تا ۱۵ هزار میلیون سال پیش.



شکل ۱۹-۱۰ انبساط عالم. (آ) مثال یک بعدی. نقاط A ، B و C روی کشی لاستیکی به طول ۱۰ سانتیمتر مشخص شده است. چون طول کش را در مدت ۲ ثانیه به ۱۶ سانتیمتر برسانیم، نقطه B با سرعت ۵ر۱ سانتیمتر در ثانیه از A دور می‌شود و نقطه C به سرعت ۳ سانتیمتر در ثانیه. افزایش فاصلهٔ بین دو نقطه در مدت زمان معین با فاصله بین آن دو نقطه متناسب است. (ب). در دو بعد جهان در حال انبساط را می‌توان به بادکنکی تشبیه کرد که لکه‌هایی (کهکشان‌ها) بر سطح آن گذاشته شده است. چون در بادکنک بدمیم آهنگ افزایش بین هر دو نقطه متناسب با فاصلهٔ بین آنها است.

قسمت سوم: پیدایش و تحول عالم

۱۰-۲۰ نظریه‌های متداول

در حال حاضر سه نظریه برای توصیف پیدایش و تحول عالم وجود دارد. این نظریه‌ها عبارت اند از: (آ) نظریهٔ مهبانگ، (ب) نظریهٔ جهان نوسان کننده و (پ) نظریهٔ حالت پایدار.

آ. نظریهٔ مهبانگ

بنابراین نظریه، «روزی و روزگاری» آتشگویی وسیع از گازهای بی‌نهایت سوزان و چگال، که بیشتر متشکل از ئیدروژن با اندکی هلیوم بود، وجود داشت.

در حدود ۱۰ تا ۱۵ بیلیون سال پیش این آتشگوی منفجر شد (مهبانگ) و انبساط آن به شهادت انتقال‌به سرخ، هنوز ادامه دارد.

با گذشت زمان «تراکم ماده» در بسیاری از نقاط این تودهٔ منبسط شوندهٔ گاز پدید آمد. این تراکم‌ها، با جذب ماده از محیط اطراف رشد کردند و به این ترتیب عالم به توده‌های عظیمی از گاز، که هریک می‌رفت تا کهکشانی شود، تقسیم شد. این توده‌ها همچنان در انبساط بی‌وقفهٔ جهان شرکت دارند.

سرانجام، هریک از این توده‌های عظیم گاز بار دیگر تکه پاره شدند و ستاره‌ها را پدید آوردند. ستارگان نسل اول از دو گاز، که در آن زمان در جهان وجود داشت، یعنی ئیدروژن و هلیوم تشکیل می‌شدند. با گذشت زمان عناصر دیگر در هسته‌های ستاره‌های پرجرم (دمای هستهٔ ستاره‌های پرجرم فوق‌العاده زیاد است و این ستاره‌ها خیلی به سرعت تحول می‌یابند) به وجود آمدند. سپس این عناصر جدید با انفجارهای ستاره‌ای به گاز میان - ستاره‌ای راه یافتند تا به عنوان مادهٔ خام در تکوین ستارگان بعدی به‌کار روند.

ب. نظریهٔ عالم نوسان کننده

مطابق این نظریه، انبساطی که با مهبانگ آغاز شد، بر اثر نیروی گرانشی سرانجام متوقف خواهد شد. آنگاه انقباض شروع خواهد شد و مجدداً همه مادهٔ عالم را به آتشگوی اولیه باز خواهد گرداند. سپس مهبانگ دوم روی خواهد داد و روند تحول بار دیگر آغاز خواهد شد.

پ. نظریهٔ حالت پایدار

تصویری را که طرفداران این نظریه رسم می‌کنند می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

آ. عالم آغاز و انجام ندارد.

ب. عالم همیشه به همان صورتی بوده و خواهد بود که اکنون به چشم هر ناظر می‌آید.

پ. با دور شدن کهکشان‌ها از هم و پیر شدن آنها، کهکشان‌های جدید در فضاهای تهی به جا مانده، تکوین می‌یابند [1].

ت. گازها، غبار و انرژی (که مطابق فرمول اینشتاین نوعی جرم است) که ستارگان در پیری از خود دفع می‌کنند، مواد خامی است که ستارگان جدید از

---

۱ مطابق این نظریه باید همراه با انبساط جهان، آفرینش مدام ماده در فضای تهی صورت پذیرد تا چگالی متوسط، ثابت بماند. برای برقراری چنین وضعیتی، باید ماده با آهنگی در حدود 10^{-43} کیلوگرم در هر مترمکعب در هر ثانیه ایجاد شود. قراین رصدی پیش‌بینی‌های این نظریه را تأیید نکرده است. م.

آن به وجود می‌آیند.

* در حال حاضر نظریهٔ مهبانگ سوزان بیش از همه مورد قبول اخترشناسان است. قراینی که این نظریه را تأیید می‌کند متعدد است که مهم‌ترین آن ها انبساط عالم، تابش زمینه میکروموجی کیهانی و فراوانی عناصر سبک است.

انبساط عالم، نخستین بار از رصدهای گستردهٔ ادوین هابل به دست آمد. اگر عقربه زمان را به عقب برگردانیم، انبساط به انقباض تبدیل می‌شود آنگاه می‌توان تا حالت فشرده آغازین پیش رفت. (نگاه کنید به بخش ۱۹-۱۰).

زمینهٔ میکروموجی کیهانی، در سال ۱۹۶۴ توسط آرنو پنزیاس و رابرت ویلسون کشف شد. بنابر نظریه مهبانگ سوزان، عالم در ابتدا آتشگوی چگال و سوزانی بود، ولی با انبساط عالم سرد و رقیق شده است. تابش میکروموجی کیهانی، سنگوارهٔ به جا مانده از ایام آغازین عالم است. این تابش، تابشی است ضعیف و همسانگرد (یعنی شدت آن در همهٔ جهات یکی است) که طیف آن، طیف جسم سیاهی به دمای ۲ر۷ $^{\circ}K$ است. نظریهٔ مهبانگ وجود تابشی با این مشخصات را پیش‌بینی می‌کند.

بنا بر نظریه مهبانگ عناصر سبک دوتریوم، هلیوم، لیتیوم در نخستین دقایق عالم آغازین تکوین یافتند. به علاوه این نظریه فراوانی نسبی این عناصر را پیش‌بینی می‌کند. مثلاً فراوانی هلیوم نمی‌تواند بیش از ۲۵ درصد باشد. مطالعات طیفی و بررسی‌های اختر فیزیکی نیز به مقداری در همین حدود می‌انجامد. *

* ۱۰-۲۱ ماده تاریک در عالم

آیا عالم الی‌الابد انبساط خواهد یافت یا در آینده این انبساط، کند و سرانجام متوقف خواهد شد و آنگاه جهان به انقباض روی خواهد آورد؟ پاسخ این سؤال بستگی دارد به نسبت چگالی عالم به چگالی بحرانی. اگر ماده عالم به قدری باشد که چگالی آن از چگالی بحرانی بیشتر شود، گرانش بالاخره انبساط کنونی را متوقف خواهد کرد. سپس انقباض عالم آغاز خواهد شد. اگر چگالی عالم از چگالی بحرانی کمتر باشد انبساط ادامه خواهد یافت و عالم پیوسته رقیق‌تر خواهد شد. چگالی بحرانی در حدود ۱×۱۰^{-۲۹}ـ۲×۱۰^{-۲۹} گرم بر سانتیمترمکعب است.

محاسبات مفصل نجومی حاکی از آن است که چگالی واقعی کمتر از

چگالی بحرانی است. اما همین محاسبات نشان می‌دهند که مادهٔ عالم ظاهراً بیش از آن است که به صورت متعارف در ستاره‌ها و کهکشان‌ها و ماده میان‌-کهکشانی مشاهده می‌شود. یعنی عالم باید حاوی ماده‌ای باشد که مرئی نیست و یا دست کم «نمی‌درخشد». چگونه اخترشناسان به این نتیجه رسیده‌اند؟

۱- میان نوری که از هر ستاره ساطع می‌شود و جرم آن ستاره رابطه‌ای وجود دارد. بنابراین می‌توان مقدار مادهٔ موجود در یک کهکشان را با اندازه‌گیری نوری که از آن گسیل می‌شود، سنجید. حرکت کهکشان‌ها در مجموعه‌های کهکشانی با مقدار ماده‌ای که از این طریق به دست می‌آید نمی‌خواند. این حرکت‌ها حاکی از آن است که کهکشان‌ها در مجموعه‌های کهکشانی، تحت سیطرهٔ یک نیروی گرانشی بسیار قوی قرار دارند. پس در مجموعه‌های کهکشانی جرم پنهانی وجود دارد که ربطی به نور و پرتوهای گسیل شده از کهکشان‌های مجموعه ندارد.

۲- در بخش ۷-۱۰ دیدیم که سرعت دوران ستاره‌های بیرونی کهکشان‌ها (از جمله کهکشان ما) دلالت بر وجود جرم پنهان یا مادهٔ تاریک در آنها دارد.

۳- از اندازه‌گیری نسبت‌های فراوانی عناصر سبک، مثلاً نسبت فراوانی دوتریوم به ئیدروژن، لیتیوم-۷ به هلیوم-۳ و هلیوم به ئیدروژن، می‌توان چگالی عالم را برآورد کرد. برای سازگاری این محاسبات نظری به چگالی‌ای ده برابر چگالی مشهود، نیاز است.

همهٔ این برآوردها، ظاهراً به این نتیجه می‌انجامد که بیش از ۹۰ درصد جرم عالم، مادهٔ تاریک یا جرم پنهان است. سرشت این ماده تاریک چیست؟ برخی حدس می‌زنند که این ماده از جنس همان مواد متعارف اخترفیزیکی یعنی به صورت کهکشان‌های بی‌فروغ، کوتوله‌های قهوه‌ای، غبار و مواد سیاره‌ای و احیاناً ستاره‌های نوترونی مرده و سیاهچاله‌های منفرد است، که به دلیل بی‌فروغی از قلم افتاده‌اند. این قبیل اجرام را اجرام هاله ای فشردهٔ اخترفیزیکی نام نهاده‌اند. عده‌ای هم بر این باور اند که مادهٔ تاریک عمدتاً متشکل از ذرات عجیب و غریب شناخته (چون نوترینو) و ناشناخته (چون آکسیون) است که برای پی بردن به ویژگی‌هاشان باید به سراغ فیزیک ذرات بنیادی رفت. این قبیل ذرات را ذرات پرجرم با برهم‌کنش ضعیف نامند.

مسئله ماده تاریک در واقع دو مسئله است. یکی این که سرشت و ماهیت ماده تاریک چیست و دیگری این که چه میزان از مادهٔ عالم، مادهٔ تاریک است. *

فصل ۱۱

منظومهٔ شمسی

قسمت اول: خورشید

۱-۱۱ اطلاعات اساسی

نشانه: ☉

قطر: ۱،۳۹۰،۰۰۰ کیلومتر؛ ۱۰۹ برابر قطر زمین.

فاصله از زمین:

کمترین	۱۴۷،۲۰۰،۰۰۰ کیلومتر
میانگین	۱۴۹،٦۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۱۵۲،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

قطر زاویه‌ای ظاهری:

کمترین	۳۱ دقیقه و ۲۸ ثانیه
میانگین	۳۱ دقیقه و ۵۹ ثانیه
بیشترین	۳۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه

جرم: $۲ر۲ \times ۱۰^{۲۷}$ تن؛ ۳۳۳،۴۰۰ برابر جرم زمین

چگالی متوسط: ۲۵ر۰ چگالی میانگین زمین

شتاب گرانش سطحی: ۲۷۵ m/sec^{2} ؛ ۹ر۲۷ برابر شتاب گرانش زمین

دمای نور سپهر (مؤثر): ۵،۷۵۰ $^{\circ}K$

دما در مرکز خورشید: $۱۴\times۱۰^{۶}\ ^{\circ}K$

قدر ظاهری (m): ۷ر۲٦-

قدر مطلق (M): ۸ر۴+

گونهٔ طیفی: G2

زاویهٔ میل محور خورشید با دایرةالبروج: $۷^{\circ}\ ۱۰'$

دورهٔ تناوب چرخش در استوا: ۲۴ روز و ۱٦ ساعت

ثابت خورشیدی (مقدار انرژیی که واحد سطح زمین از خورشید دریافت می‌کند): ۱٫۹۴ کالری بر هر سانتیمترمربع در دقیقه
برونداد انرژی (تمام‌خورشید): $۵×۱۰^{۲۳}$ اسب‌بخار ($۳٫۸×۱۰^{۲۶}$ وات)

۲-۱۱ مقدمه

خورشید در مقایسه با بیلیون‌ها ستارهٔ کهکشان ما، ستاره‌ای متوسط به‌شمار می‌رود. روشنی ظاهری و اندازهٔ ظاهری آن صرفاً معلول نزدیکی آن به زمین است. نزدیک‌ترین ستارهٔ بعدی، α (آلفا)-قنطورس ۲۷۰،۰۰۰ بار دورتر از خورشید است. α (آلفا)-قنطورس سومین ستارهٔ پرنور آسمان است؛ و دست بر قضا مشخصاتی تقریباً همانند خورشید دارد.

در میان اطلاعات بسیار زیادی که از خورشید داریم دو مطلب به ویژه حیرت‌انگیز است:

آ. خورشید، بر خلاف زمین، تماماً گاز است. مرزی به نام نورسپهر میان خورشید و جوّ آن وجود دارد که نور آفتاب از آن سرچشمه می‌گیرد. نورسپهر کاملاً کدر است و مانع دیدن چیزهایی می‌شود که در زیر آن است. جو خورشید از سه لایه تشکیل شده است: لایهٔ واگردان، فام سپهر و تاج، که جملگی در برابر نوری که از نورسپهر گسیل می‌شود نسبتاً شفاف اند. به شکل ۲-۱۱ نگاه کنید.

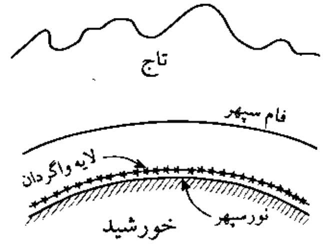
ب. مطلب «حیرت‌انگیز» دیگر این است که خورشید با سرعت زاویه‌ای ثابتی بر گرد محورش نمی‌چرخد. نقطه‌ای که بر استوا قرار دارد یک دوران کامل را در ۲۵ روز انجام می‌دهد در حالی که برای نقطه‌ای در ۶۰ درجه‌ای شمال یا جنوب استوا، یک دوران کامل ۳۱ روز طول می‌کشد.

شکل ۲-۱۱ جو خورشید. در جو خورشید سه لایه تشخیص داده می‌شود. میان آنها هیچ مرز مشخص و قاطعی وجود ندارد.

لایه‌ای که بلافاصله بالای نورسپهر (سطح خورشید) است به لایهٔ واگردان موسوم است. ضخامت آن فقط ۱۵۰۰ کیلومتر است ولی عملاً در کیفیت نوری که از نورسپهر ساطع می‌شود دخیل است، به این قرار که بعضی از اجزای آن را حذف می‌کند.

ضخامت لایهٔ میانی در حدود ۱۰،۰۰۰ کیلومتر است و این لایه فام سپهر نام دارد. منشاء زبانه‌ها و شراره‌های فام‌سپهری، که موجب خاموشی رادیویی می‌شوند، در این لایه است.

لایهٔ بیرونی که به تاج موسوم است، لایه‌ای است به رنگ خاکستری مرواریدی و ضخامت آن گاه به یک میلیون کیلومتر می‌رسد.



۳-۱۱ فاصله

فاصلهٔ متوسط خورشید از زمین (که از مثلث‌بندی به دست آمده است) ۱۴۹٫۶ میلیون کیلومتر است. این فاصله در دی‌ماه، بیش از ۵ میلیون کیلومتر کمتر از تیرماه است.

۴-۱۱ قطر

با داشتن فاصلهٔ خورشید از زمین و قطر زاویه‌ای آن، محاسبهٔ قطر آن آسان است. فاصلهٔ متوسط ۱۵۰ میلیون یا دقیق‌تر بگوییم، ۱۴۹٫۶ میلیون کیلومتر است. قطر ظاهری خورشید در این فاصله اندکی بیش از نیم درجهٔ قوس - دقیقاً

۳۱ دقیقه و ۵ر۵۹ ثانیه یا ۵ر۱۹۱۹ ثانیهٔ قوس- است.
قطر خطی از فرمول زیر به دست می‌آید:

قطر زاویه‌ای × فاصله = قطر خطی

قطر زاویه‌ای در این فرمول باید بر حسب واحدخاصی موسوم به رادیان بیان شود که معادل است با ۲۰۶،۲۶۵ ثانیهٔ قوس. چون این مقادیر را در فرمول قرار دهیم،

$$\text{قطر خطی} = ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ \times \frac{۱۹۱۹ر۵}{۲۰۶،۲۶۵}$$

قطر خورشید برابر با ۱،۳۹۰،۰۰۰ کیلومتر به دست می‌آید.
قطر خورشید بیش از یک صد برابر قطر زمین است. زمین با ماه، که در مدارش به دور زمین می‌گردد، به‌آسانی در دل خورشید جای می‌گیرند.
خورشید، در مقایسه با ستاره‌های دیگر، از حیث اندازه، ستاره‌ای متوسط است. ستاره‌های بسیار کوچک، قطرهایی در حدود ۶۰۰۰ کیلومتر دارند و قطر ستاره‌های بسیار بزرگ در حدود ۳۰۰۰ برابر قطر خورشید است.

۵-۱۱ حجم

با داشتن قطر خورشید حجم آن را می‌توان تعیین کرد: حجم خورشید ۱،۲۵۰،۰۰۰ برابر حجم زمین است.

۶-۱۱ جرم

جرم خورشید را می‌توان از روی فرمول ساده‌ای که موسوم به صورت نیوتنی قانون سوم کپلر است محاسبه کرد. این فرمول جرم خورشید را به دورهٔ تناوب حرکت مداری زمین به دور خورشید مربوط می‌کند و معمولاً به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$P^2 = \left[\frac{4\pi^2 a^3}{G(M_1+M_2)}\right]$$

در این فرمول:
P دورهٔ تناوب حرکت انتقالی زمین به دور خورشید بر حسب ثانیه، یعنی ۱۶ر۳ $\times 10^{7}$ ثانیه، است.
نسبت محیط دایره به قطر آن است و مقدار آن ۱۴ر۳ است.
a فاصلهٔ متوسط میان زمین و خورشید بر حسب سانتیمتر است. مقدار آن ۵ر۱ $\times 10^{13}$ سانتیمتر است.

G ثابتی فیزیکی موسوم به ثابت عام گرانش است. مقدار آن در دستگاه واحدهای سانتیمتر-گرم- ثانیه برابر با $۶٫۶۶ \times ۱۰^{-۸}$ است.

$M_۱$ جرم خورشید است که باید از روی این فرمول تعیین شود.

$M_۲$ جرم زمین است که می‌توان از آن چشم پوشید (یعنی به جای آن صفر گذاشت) زیرا جرم زمین فقط $\frac{۱}{۳۳۳٫۴۰۰}$ (تقریباً صفر) جرم خورشید است.

به این ترتیب جرم خورشید برابر با ۲×۱۰^{۳۳} گرم یا ۲×۱۰^{۳۰} کیلوگرم یا ۲×۱۰^{۲۷} تن یا بیش از ۲ بیلیون بیلیون بیلیون تن، به‌دست می‌آید و این یک سوم میلیون برابر جرم زمین است. اگر خورشید را در یک کفهٔ ترازو بگذاریم، ۳۳۳،۴۰۰ زمین باید در کفهٔ دیگر قرار دهیم تا توازن برقرار شود.

اما خورشید به لحاظ جرم نیز در مقایسه با ستاره‌های دیگر، ستاره‌ای متوسط است. ستاره‌هایی وجود دارد که جرمشان یک صد برابر جرم خورشید است.

ستاره‌های دیگری هم هستند که جرمی کمتر از $\frac{۱}{۲۵}$ جرم خورشید دارند. اما جرم بیشتر ستاره‌ها در فاصلهٔ ۵ برابر تا $\frac{۱}{۱۰}$ جرم خورشید است.

۷-۱۱ چگالی

با دانستن جرم و حجم خورشید، محاسبهٔ چگالی آن آسان است:

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$$

حاصل این محاسبه را به دو صورت زیر می‌توان بیان کرد:

آ. چگالی خورشید ۱٫۴ برابر چگالی آب است. یک سانتیمتر مکعب از ماده آن ۱٫۴ گرم است.

ب. چگالی خورشید در حدود ۰٫۲۵ چگالی زمین است.

چگالی خورشید ثابت نیست. چگالی در نزدیکی مرکز خورشید بسیار بیشتر از چگالی در سطح آن است و دلیل آن وزن زیاد ماده‌ای است که روی آن قرار دارد. وزن ماده‌ای که خورشید از آن ساخته شده است فشاری در حدود ۱۰ بیلیون اتمسفر در مرکز خورشید ایجاد می‌کند و چگالی گاز در مرکز ۱۰۰ برابر چگالی آب یا تقریباً ۱۰ برابر چگالی سرب است.

گوشزد: با وجود این فشار و چگالی، خورشید سرتاسر از گاز است، زیرا دما در مرکز آن در حدود ۱۴ میلیون درجهٔ مطلق است.

۸-۱۱ گرانش سطحی

چون جرم و شعاع خورشید را می‌دانیم محاسبهٔ شتاب گرانش در سطح آن آسان است. فرمول سادهٔ آن عبارت است از:

$$\text{شتاب گرانش سطحی} = G\,\frac{M}{R^{2}}$$

که در آن G ثابت عام گرانش است و مقدار آن در دستگاه واحدهای سانتیمتر-گرم-ثانیه برابر $6{,}67\times10^{-8}$ است. M جرم خورشید (2×10^{33} گرم) و R شعاع آن ($6{,}96\times10^{10}$ سانتیمتر) است. چون این اعداد را در فرمول بگذاریم و نتیجه را با شتاب گرانش سطحی زمین مقایسه کنیم، دیده می‌شود که شتاب گرانش سطحی خورشید ۲۸ برابر شتاب گرانش در سطح زمین است. یک نیروسنج وزن یک کودک ۱۰ کیلویی را در آنجا برابر ۲۸۰ کیلو نشان خواهد داد.

این گرانش سطحی به طور عمده معلول جرم خورشید است که نیروی گرانشی شدیدی را اعمال می‌کند. شعاع بزرگ خورشید اندکی از این جاذبهٔ گرانشی قوی می‌کاهد.

۹-۱۱ نور سپهر

چون با عینک تیره به خورشید نگاه شود، قرص درخشانی موسوم به نورسپهر دیده می‌شود که سطح خورشید است.

در حقیقت، نورسپهر سطحی هندسی نیست، بلکه پوسته‌ای است به ضخامت ۲۴۰ کیلومتر که از آن نور به فضا ساطع می‌شود. نوری که از زیر این لایه نشأت می‌کند کاملاً در این ضخامت ۲۴۰ کیلومتری جذب می‌شود. نور مختصری نیز در گازهای رقیق بالای نور سپهر ایجاد می‌گردد.

دمای متوسط در قسمت فوقانی این لایهٔ نورسپهری کمتر از 6000° و چگالی گاز در آن ۰٫۰۰۰۱ چگالی جو زمین در سطح دریا است.

روشنی قرص خورشید را تنها به تقریب می‌توان یکنواخت شمرد. مطالعهٔ دقیق نورسپهر نشان می‌دهد که روشنی نورسپهر یکنواخت نیست، بلکه دانه دانه است و قطر هر دانه صدها کیلومتر است. این دانه‌ها که احتمالاً تمام مساحت نورسپهر را می‌پوشانند، بر این سطح ثابت نیستند بلکه اندازه و ساخت آن‌ها پیوسته در تغییر است.

گوشزد: انرژی گرمایی که در هستهٔ خورشید تولید می‌شود، هم از راه تابش و

هم از طریق همرفت (یعنی از راه حرکت گاز یا از راه حباب‌های داغی که صعود می‌کنند و حباب‌های سردی که سقوط می‌کنند) صورت می‌گیرد. این حرکت صعودی -سقوطی چون به سطح خورشید راه یابد، دانه‌ها را به وجود می‌آورد.

همچنین گه‌گاه در سطح خورشید (آ) کلف‌ها و (ب) مشعل‌های خورشیدی پدیدار می‌شوند:

آ. کلف‌های خورشیدی ناحیه‌های بزرگی بر قرص خورشید اند که از نواحی مجاور خود تیره‌تر اند. قطر آن‌ها ده‌ها هزار کیلومتر است.

ب. مشعل‌ها ناحیه‌هایی در سطح خورشید اند که از نواحی مجاور روشن‌تر اند.

۱۰-۱۱ کلف‌های خورشیدی

کلف‌ها، از هنگامی که در ۱۶۱۰ میلادی به وسیلهٔ گالیله کشف شدند، پیوسته مورد مطالعه بوده اند. حاصل این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

آ. ساختمان. بیشتر کلف‌ها از دو قسمت تشکیل شده اند که از حیث «تیرگی» با یکدیگر خیلی تفاوت دارند. قسمت داخلی - که نام فنی آن سایه است - تیره‌تر است. سایه را ناحیهٔ نیمه تاریکی به نام نیم‌سایه احاطه می‌کند.

گوشزد: واژه‌های «تاریک» و «نیمه‌تاریک» که در مورد کلف‌های خورشیدی به کار می‌رود نیازمند توضیح است. در واقع، نوری که سایهٔ تاریک گسیل می‌کند از نور کارآترین قوس الکتریکی شدیدتر است. این ناحیه در کنار زمینهٔ درخشان‌تر قرص خورشید تیره بنظر می‌رسد. سایه ۲۰۰۰ $^{\circ}K$ سردتر از بقیهٔ نورسپهر است. ولی دمای آن خود هنوز بسیار زیاد- ۴۰۰۰ $^{\circ}K$ - است.

ب. اندازه. اندازهٔ کلف‌ها متفاوت است و از ۳۰۰۰ کیلومتر تا ده برابر این رقم تغییر می‌کند. بزرگ‌ترین کلف شناخته شده، که در فروردین ۱۳۲۶ (آوریل ۱۹۴۷) دیده شد، مساحتی بیش از سی برابر سطح زمین داشت.

پ. عرض خورشیدی. کلف‌ها بر سطح خورشید در دو کمربند پدیدار می‌شوند: یکی بین عرض‌های خورشیدی ۵ $^{\circ}N$ و ۴۰ $^{\circ}N$ و دیگری میان ۵ $^{\circ}S$ و ۴۰ $^{\circ}S$ است. البته استثناهایی بر این قاعده نیز وجود دارد.

ت. دوام. بیش از ۵۰ درصد کلف‌های خورشیدی عمری کمتر از چهار روز دارند. اما گه‌گاه کلف‌هایی دیده می‌شود که بیش از یک‌صد روز دوام می‌آورند.

ث. میدان مغناطیسی. هر کلف مرکز یک میدان مغناطیسی است و شدت این میدان با اندازهٔ کلف تغییر می‌کند. قطبیت برخی از کلف‌ها «شمال‌جو» است و کلف‌های دیگر قطبیت مخالف دارند.

مطالعهٔ میدان‌های مغناطیسی مبتنی بر اثر زیمان است (پیتر زیمان، از اهالی هلند، در سال ۱۸۹۶ اثر میدان مغناطیسی را بر خطوط طیفی کشف کرد). خطوط طیفی در یک میدان نیرومند مغناطیسی یا به چندین مؤلفه شکافته می‌شوند و یا به وجه قابل ملاحظه‌ای پهن می‌شوند. به شکل (آ) ۱۰-۱۱ نگاه کنید.

چگونگی شکافتن یا میزان پهن شدن بسته به میدان مغناطیسی است. اطلاعات مربوط به مغناطیس کلف‌های خورشیدی بر پهن شدگی خطوط طیفی در نوری که از کلف‌ها گسیل شده مبتنی است.

در واقع، نخستین قرینه بر قریب‌الوقوع بودن تشکیل یک کلف در یک ناحیهٔ خاص این است که شدت میدان مغناطیسی در آن ناحیه چندین هزار بار افزایش می‌یابد. همچنین با بزرگ‌تر شدن کلف بر شدت میدان مغناطیسی افزوده می‌شود. این میدان چندین روز و یا هفته‌ها و ماه‌ها پس از کلف نیز به جا می‌ماند.

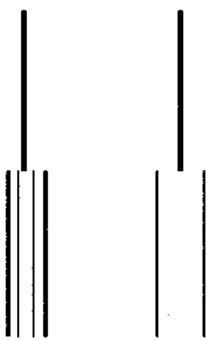
ج. شکل و حرکات. تا آنجا که می‌دانیم، کلف خورشیدی به گردابی می‌ماند که حرکت آن در نیمکرهٔ شمالی خورشید در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و در نیمکرهٔ جنوبی در جهت عقربه‌های ساعت است.

در قاعدهٔ گرداب، گاز به بیرون جریان دارد و در سطوح بالایی به داخل می‌ریزد. ارتفاع گرداب ممکن است ۱۵۰ کیلومتر باشد و به احتمال زیاد آثار مغناطیسی، نیروهای محرک اصلی گازها اند.

چ. تغییرات سطح خورشید از حیث شدت کلف‌ها. مساحتی از سطح خورشید که از کلف پوشیده شده، دستخوش تغییرات زیادی می‌شود. ممکن است هفته‌ها بگذرد و حتی یک کلف هم بر سطح خورشید نباشد، سپس ده‌ها کلف بر قرص خورشید ظاهر شود.

رصدخانهٔ سلطنتی بریتانیا در هرست‌مونسو[1] واقع در ساسکس[2]، این ناحیه‌های سطح خورشید را به دقت تمام زیر نظر دارد. هر روز

شکل (آ) ۱۰-۱۱ اثر میدان مغناطیسی بر خطوط طیفی (اثر زیمان). نیمهٔ بالایی شکل دو خط را در طیف عنصر وانادیم، که در غیاب میدان مغناطیسی نشان می‌دهد. نیمهٔ پایینی شکل اثر میدان مغناطیسی بزرگی (در حدود ۱۵،۰۰۰ گاوس) را نشان می‌دهد که بر نوری اعمال شد،که طیف آن بررسی می‌شود. یکی از دو خط به چهار مؤلفه و دیگری به دو مؤلفه «شکافته» شده است.



1- Herstmonceux 2- Sussex

اندازه‌گیری‌های دقیقی انجام می‌شود. نتایج بر حسب $\frac{1}{1,000,000}$ مساحت قرص مرئی خورشید بیان می‌شود و متوسط سالانهٔ آن محاسبه می‌گردد. میانگین روزانه مساحت کلف‌ها در ۱۹۳۳ میلادی برابر ۸۸ و در سال ۱۹۳۷ برابر ۲٫۰۱۹ بود. معنی رقم اخیر این است که به طور متوسط $\frac{2,019}{1,000,000}$ مساحت قرص مرئی خورشید پوشیده از کلف بوده است.

ح. دوره‌های کلفی. نخستین بار در سال ۱۸۴۳ میلادی دوره‌ای برای شدت کلف‌ها پیشنهاد شد و این دوره از آن زمان به بعد تأیید شده است. دورهٔ تناوب یک سیکل کامل ۲۲ سال است. هر دورهٔ کامل به دو نیمهٔ یازده ساله تقسیم می‌شود. چنان که در شکل (ب) ۱۰-۱۱ نشان داده شده است، دو نیم‌دوره از لحاظ تغییرات مساحت پوشیده از کلف، شبیه یکدیگر اند. تفاوت آن‌ها در قطبیت مغناطیسی است. تفصیل جزئیات یک دورهٔ فرضی به شرح زیر است:

۱. آغاز دوره، که شدت کلف‌دار بودن سطح خورشید در حداقل است، با ظهور دو کلف در عرض ۳۵° N و دو کلف در عرض ۳۵° S مشخص می‌شود. کلف‌ها دوبه‌دو در امتداد محور شرقی - غربی قرار دارند، یکی را «جلودار» ودیگری را «دنباله‌رو» می‌نامیم. فاصلهٔ زاویه‌ای بین این دو ۳ یا ۴ درجه است.

خواص مغناطیسی این دو جفت، متفاوت است. اگر جلودار جفت ۳۵° N دارای خاصیت یک قطب شمال‌جو باشد، دنباله‌رو چون قطبی عمل خواهد کرد که جنوب‌جو است. قطبیت جفتی که در ۳۵° S است عکس قطبیت این جفت خواهد بود. جلودار گروه زیر خط استوا چون قطبی جنوب‌جو خواهد بود و دنباله‌رو آن شمال‌جو. ترتیب کلف‌ها در آغاز دوره در نیمهٔ زیرین شکل (ب) ۱۰-۱۱ نشان داده شده است.

۲. کلف‌های اولیه، چند روزی دوام می‌آورند. سپس کلف‌های دیگری ظاهر می‌شوند. سه نوع تغییر به چشم می‌خورد:

آ. تعداد کلف‌ها افزایش می‌یابد.

ب. اندازهٔ هر کلف بزرگ‌تر می‌شود.

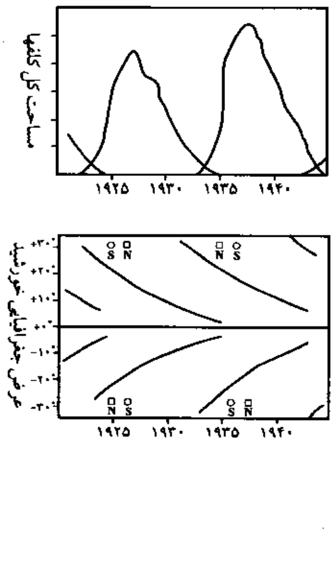
پ. کلف‌ها به استوا نزدیک‌تر می‌شوند.

این روال چهار سال ادامه می‌یابد، تا مساحت کلف‌ها به حداکثر می‌رسد. در این زمان مساحتی که به وسیلهٔ کلف‌ها پوشیده شده، ممکن است ۳۰۰ برابر آن در آغاز دوره باشد.

۳. در هفت سال بعدی حرکت به سمت استوا ادامه می‌یابد، اما مساحتی که

شکل (ب)۱۰-۱۱ دوره‌های کلفی. نمودار بالایی تغییرات مساحتی از سطح خورشید را که با کلف پوشیده شده است، در یک دورهٔ کامل (۱۹۴۶-۱۹۲۲ میلادی) نشان می‌دهد. دورهٔ کامل مشتمل است بر دو نیم‌دوره با بیشینه‌هایی در سال ۱۹۲۸ و ۱۹۳۷ میلادی. نمودار پایینی تغییرات را بر حسب عرض جغرافیایی و قطبیت مغناطیسی نشان می‌دهد.

در آغاز دوره یک جفت کلف در عرض ۳۵° N ظاهر می‌گردد. قطبیت مغناطیسی کلف غربی جنوب‌جو است و دیگری شمال‌جو. جفت دیگری نیز با قطبیت معکوس در ۳۵° S ظاهر می‌شود. در حدود سال ۱۹۲۸ مساحت کل کلف‌ها به حداکثر خود رسید (به طور متوسط ۱٫۳۹۰ میلیونم مساحت مرئی خورشید). کلف‌ها به استوا نزدیک‌تر شدند: میانگین عرض جغرافیایی آنها در حدود ۱۸° بود. در سال‌های نخست دههٔ ۱۹۳۰ میلادی شدت کلف در حداقل و مکان کلف‌ها در چند درجه‌ای استوای خورشیدی بود. آنگاه نیم‌دورهٔ جدیدی، از عرض‌های جغرافیایی بالاتر آغاز شد. تنها تفاوت بین نیم‌دورهٔ دوم و نیم‌دورهٔ اول در معکوس بودن قطبیت کلف‌هاست.



با کلف پوشیده شده به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند. این مساحت در پایان مدت به حداقل می‌رسد و این پایان یک نیم‌دوره است، از حداقل تا حداقل دیگر.

۴. در حالی که آخرین کلف‌ها در عرض‌های N °۵ و S °۵ ناپدید می‌شوند، کلف‌های پیشتاز نیم‌دورهٔ دوم در عرض‌های N °۳۵ و S °۳۵ ظاهر می‌شود. یک جفت در عرض‌های شمالی و یک جفت در عرض‌های جنوبی. نیم دورهٔ دوم شبیه نیم دورهٔ اول است با یک تفاوت عمده: قطبیت مغناطیسی هر کلف معکوس شده است. بنابراین اگر جلودار N °۳۵ در ۱۱ سال پیش قطبی شمال‌جو بود، حال دارای ویژگی یک قطب جنوب‌جو است.

پس از ۲۲ سال دورهٔ جدیدی شروع می‌شود. کمینه‌های اخیر، در سال‌های ۱۹۳۳، ۱۹۴۴، ۱۹۵۴، ۱۹۶۴، ۱۹۷۲ میلادی واقع شدند. یک دور فعالیت بیشینهٔ خورشیدی در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۹۲ - ۱۹۹۱ میلادی روی داد.

گوشزد: ۱. مشخصات دوره‌های کلفی تنها در یک جریان متوسط‌گیری آشکار می‌شود. ممکن است در زمانی با حداکثر فعالیت خورشیدی، سطح خورشید کاملاً صاف و بی‌لکه باشد؛ و در طی مدتی که فعالیت در حداقل است، ممکن است بخش بزرگی از سطح خورشید را کلف پوشانده باشد. بنابراین دو نیم‌دوره تنها پس از متوسط‌گیری از مقدار زیادی دادهٔ رصدی، آشکار می‌شود.

۲. رقم ۱۱ سال برای یک نیم دوره نیز یک مقدار متوسط است. دوره‌های مشاهده شده ممکن است با هم تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشند. نیم‌دوره‌های هشت ساله و نیم‌دوره‌های ۱۴ ساله نیز دیده شده‌اند.

۱۱-۱۱ دوران خورشید

کلف‌ها اطلاعاتی هم دربارهٔ چرخش خورشید بر گرد محورش در اختیار ما می‌گذارند. دو واقعیت وجود دارد که از چرخش خورشید به دور محورش حکایت می‌کند.

آ. همهٔ کلف‌های خورشیدی در یک جهت به دور خورشید می‌گردند.

ب. مدتی که کلف‌ها در پشت قرص خورشید اند برابر است با زمانی که در جلوی آن اند.

دلیل عمدهٔ دیگر مبتنی بر اثر دوپلر است. طیف‌های شعاع‌های نوری که از دو کنارهٔ متقابل خورشید می‌آیند، تفاوت‌های بارزی باهم دارند: نور لبه‌ای که از ناظر «دور می‌شود» حکایت از انتقال به سرخ می‌کند و آن که از لبه‌ای می‌آید که به ناظر نزدیک می‌شود، حاکی از انتقال خطوط به سمت انتهای آبی

طیف است.

جهت چرخش خورشید نیز مانند جهت دوران زمین است. برای ناظری بر سطح خورشید نیز ستارگان از مشرق طلوع و در مغرب غروب می‌کنند؛ یا ناظری که بیرون ازخورشید است واز فراز قطب شمال خورشید به آن نگاه می‌کند آن را می‌بیند که در جهتی خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد.

مدت زمان یک بار دوران کامل به دور محور، ثابت نیست بلکه باعرض جغرافیایی تغییر می‌کند. در استوا این دوره تناوب ۶ر۲۴ روز است. دورهٔ تناوب برای عرض‌های دیگر در جدول زیر داده شده است.

عرض خورشیدی	دورهٔ تناوب دوران
استوا °۰	۶ر۲۴ روز
°۳۰	۲۶ روز
°۴۵	۴ر۲۸ روز
°۶۰	۰ر۳۱ روز
°۸۰	۵ر۳۳ روز

اگر دوران زمین نیز چنین می‌بود، مطالعهٔ نجوم بسیار دشوارتر می‌شد. مثلاً شبانه‌روز در استوا ۲۴ ساعت بود و یک بار دوران به دور محور در عرض جغرافیایی ۶۰ درجه، ۳۰ ساعت طول می‌کشید.

۱۱-۱۲ زاویهٔ میل محور خورشید

علاوه بر آنچه گفته شد، کلف‌های خورشید اطلاعاتی دربارهٔ زاویهٔ میل محور خورشید به دست می‌دهند که مبتنی بر انحنای مختصری است در مسیری که کلف‌ها می‌پیمایند. محور خورشید زاویه‌ای برابر '۱۰ °۷ با خطی می‌سازد که بر مدار زمین عمود است. قطب شمال خورشید در مهرماه به سمت زمین مایل می‌شود و در فروردین ماه از آن دور می‌گردد.

۱۱-۱۳ مشعل‌ها

چنین به نظر می‌رسد که مشعل‌ها نواحی همواری بالاتر از نورسپهر باشند. این نواحی اندکی روشن‌تر ازنورسپهر اند ولی موقعی که در نزدیکی زمینهٔ تیره‌تر کنارهٔ خورشید قرار دارند، بهتر دیده می‌شوند.

این مشعل‌های کوچک یک یا چند روز پیش از ظهور کلف‌ها پدیدار می‌شوند، ولی معمولاً بعد از کلف‌ها نیز، گاه تا چندین ماه، حضور دارند. طول

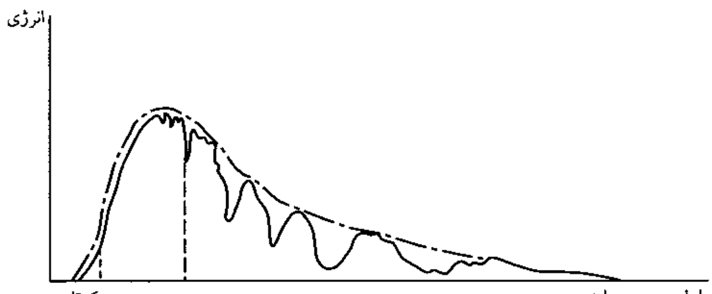
عمر متوسط آن‌ها در حدود دو هفته است.

۱۴-۱۱ لایهٔ واگردان

لایهٔ واگردان نامی است که به لایهٔ زیرین از سه لایهٔ جو خورشید داده‌اند. کف این لایه، سطح خورشید است. رأس آن تا ۱۵۰۰ کیلومتر از سطح خورشید ادامه می‌یابد. ضخامت این لایه از روی مطالعات کسوف خورشید معین شده است. زمانی که طول می‌کشد تا ماه این لایه را بپیماید و نیز مقدار معلوم سرعت ماه، در این محاسبه به کار می‌آیند.

چگالی لایهٔ واگردان، با نزدیک شدن به بالای آن، به‌شدت کاهش پیدا می‌کند، در حالی که بر دمای آن افزوده می‌شود. بهترین مقادیری که برای چگالی و دمای رأس لایه به‌دست آمده عبارت است از $۵×۱۰^{-۱۸}$ گرم در سانتیمترمکعب و $۷,۵۰۰\ ^{\circ}K$.

لایهٔ واگردان موجد چندین (هزار) خط طیفی تاریک است که بر طیف نور خورشید قرار دارند. طیف خورشید، سوای این خطوط، طیفی پیوسته است. گازهای موجود در لایهٔ واگردان‌طول‌موج‌های مربوط به این خطوط را جذب می‌کنند. منحنی توزیع انرژی خورشید، این جذب را نشان می‌دهد. در این منحنی برخی از طول‌موج‌ها (انرژی‌هایی که معمولاً وجود دارند) از طیف پیوسته «ربوده شده»اند. به شکل ۱۴-۱۱ نگاه کنید.



شکل ۱۴-۱۱ توزیع انرژی خورشیدی. منحنی خط-نقطه توزیع انرژی را بر حسب طول موج نوری که از نورسپهر خورشید گسیل می‌شود، نشان می‌دهد. فاصلهٔ عمودی تا منحنی، مقدار انرژی موجود در هر طول‌موج خاص است.

منحنی خط پر توزیع انرژی خورشید را به صورتی که به ناظر زمینی می‌رسد نشان می‌دهد. فرورفتگی‌های منحنی حاکی از آن است که در این طول‌موج‌های خاص انرژی «ربوده شده» است.

برخی از فرورفتگی‌های منحنی معلول گازهای لایهٔ واگردان اند. فرورفتگی‌های دیگر بر اثر جذب نور به وسیلهٔ بخار آب و گاز کربنیک در جو زمین پدید آمده‌اند.

طول‌موج‌هایی که ربوده شده‌اند (یعنی خطوط تاریک طیف) به وضوح تمام، ترکیب شیمیایی لایهٔ واگردان را مشخص می‌کنند. تشخیص این خطوط از مقایسهٔ آن‌ها با خطوط طیفی‌ای که در آزمایشگاه از عناصر شیمیایی به‌دست آمده، حاصل می‌شود. به‌این طریق وجود شصت و پنج عنصر از نودودو عنصری که بر سطح زمین وجود دارد تشخیص داده شده است. ئیدروژن،

کربن، نیتروژن، اکسیژن، آلومینیوم، آهن،کبالت،کادمیم، سرب و پلاتین در زمرهٔ شصت‌وپنج عنصری اند که در این لایه وجود دارند. احتمال بسیار می‌رود که سرانجام وجود بیش از شصت و پنج عنصر شیمیایی در این لایه تشخیص داده شود.

از مطالعهٔ شدت خطوط طیفی می‌توان به مقادیر قابل قبولی برای درصد عناصر مختلف در سطح خورشید دست یافت. ارقام جدید از مخلوطی حکایت می‌کند که تقریباً شامل ۹۰ درصد ئیدروژن، ۱۰ درصد هلیوم و کسرهای ناچیزی اکسیژن، کربن، نئون وغیره است.

در هنگام کسوف می‌توان به طیف درخشی لایهٔ واگردان دست یافت که دارای همان تعداد خطوط و همان طول موج‌های خطوط تاریک طیف خورشید است. تفاوت میان طیف درخشی و طیف خورشیدی آن است که طیف درخشی متشکل از خطوط روشن بر زمینه‌ای تاریک است، در حالی که طیف معمولی خورشید از خطوطی سیاه بر زمینه‌ای رنگین کمانی تشکیل شده است.

وجود طیف درخشی، به طور نظری پیش‌بینی شده بود. اگر گازهای «سردتر» لایهٔ واگردان طول‌موج‌های خاصی از طیف پیوسته را جذب کنند، باید هنگامی که طیف پیوسته حضور ندارد، همان طول‌موج‌ها را گسیل کنند. طیفی که در هنگام کسوف از لایهٔ واگردان گرفته شود، این پیش‌بینی را ثابت می‌کند. تا لحظهٔ کسوف کامل، طیف معمولی خورشید دیده می‌شود، در لحظهٔ کسوف کامل تغییری کاملاً مشخص روی می‌دهد طیف درخشی پدیدار می‌شود. طیف درخشی فقط دو یا سه ثانیه دوام می‌آورد.

۱۵-۱۱ فام‌سپهر

نام لایهٔ میانی جو خورشید، فام‌سپهر است که ضخامت متوسط آن در حدود ۱۰،۰۰۰ کیلومتر است. در بعضی از نواحی خورشید ضخامت آن به ۱۳،۰۰۰ کیلومتر می‌رسد و در نواحی دیگر در حدود ۸۰۰۰ کیلومتر است.

نام فام‌سپهر به علت رنگ بسیار روشنی (صورتی) است که عمدتاً معلول خطی در طیف ئیدروژن است به طول موج ۶،۵۶۳ آنگستروم که به خط «H– آلفا» موسوم است.

هرچه در فام‌سپهر بالاتر رویم چگالی کمتر و دما بیشتر می‌شود؛ چگالی به کندی کاهش می‌یابد و در رأس فام سپهر به حدود 10^{-15} گرم در سانتیمتر مکعب می‌رسد؛ دما به سرعت زیاد می‌شود و نهایتاً به $1{,}000{,}000\ ^\circ K$

می‌رسد. ئیدروژن در این لایه نزدیک به ۱۰۰ درصد یونیده است.

مطالعات فام‌سپهر حاکی از آن است که لایهٔ فوقانی در یک حالت تلاطم دایمی است و از آن توده‌های بزرگ گاز به ارتفاع‌های زیاد پرتاب می‌شود.

۱۱-۱۶ زبانه‌ها

بهترین وصفی که می‌توان از زبانه‌ها کرد این است که پرده‌هایی از شعلهٔ سرخ رنگ و عمود بر سطح خورشید اند که گاه ساختمانی پَرمانند دارند و زمانی به درختی تنومند می‌مانند. ابعاد زبانه‌ها حیرت‌آور است: ارتفاع متوسط آن‌ها ۳۰،۰۰۰ کیلومتر و مساحت مقطع آن‌ها ۳،۰۰۰×۱۵۰،۰۰۰ کیلومترمربع است. استثنا هم وجود دارد: ارتفاع زبانه‌ها ممکن است به هشتصد هزار کیلومتر یا بیشتر هم برسد و برخی نیز از شعاع خورشید که نزدیک به ۱٫۵ میلیون کیلومتر است فراتر می‌روند.

زبانه‌ها در نواحی کلف‌های خورشیدی تشکیل می‌شوند و بسیاری از آن‌ها پیش از آن که ناپدید شوند به سمت قطب‌ها حرکت می‌کنند. طول عمرشان از چند روز تا چند ماه است. بعد از میدان مغناطیسی، زبانه‌ها طویل‌العمرترین همراهان کلف‌ها به‌شمار می‌روند.

ویژگی برجستهٔ دیگر زبانه‌ها سرعت آن‌ها (یعنی مقدار سرعت و چگونگی تغییر آن) است. سرعت‌های ۳۰۰ یا ۴۰۰ کیلومتر در ثانیه بسیار معمولی است. در سپتامبر ۱۹۳۷ زبانهٔ فوران کنندهٔ بزرگی مشاهده شد که سرعت بیشینه‌ای برابر ۷۲۰ کیلومتر در ثانیه داشت و در کمتر از نیم ساعت به ارتفاعی متجاوز از یک میلیون کیلومتر صعود کرد.

تغییر سرعت، سریع و ناگهانی است و سرعت بعدی مضربی از سرعت قبلی است. زبانه‌ای ممکن است با سرعت ۱۵۰ کیلومتر در ثانیه صعود کند وسپس سرعت آن ناگهان به ۳۰۰ کیلومتر در ثانیه تغییر یابد، آنگاه مدتی با این سرعت ادامه دهد و سپس بار دیگر به ناگهان سرعتش به ۴۵۰ کیلومتر در ثانیه تغییر کند. زبانه‌ها وقتی که در زمینهٔ قرص خورشید مشاهده شوند چون رشته‌های مارمانند تاریکی به نظر می‌رسند.

۱۱-۱۷ شراره‌های فام‌سپهری

گه گاه ابرهای بسیار پرنوری به نام شراره در بالای فام‌سپهر ظاهر می‌شود که تفاوت‌شان با زبانه‌ها در میزان درخشش، اندازه و دوام آن‌ها است.

آ. درخشش. وقتی که شدت حداکثر است، شراره‌ها پرنورترین لکه‌های

سفید واقع بر خورشید اند.

ب. اندازه. این شراره‌ها از زبانه‌ها کوچک‌تر اند و ارتفاع‌شان معمولاً فقط ۱۵،۰۰۰ کیلومتر است.

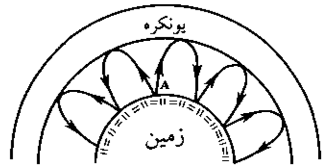
پ. دوام. شراره‌ها، بر خلاف زبانه‌ها، به سرعت بسیار زیاد (در نزدیکی مجموعه‌های کلفی فعال) ایجاد می‌شوند و ناپدید می‌گردند. شراره‌ها در مدت چند دقیقه به بیشترین روشنی خود می‌رسند و پس از یک ساعت یا بیشتر ناپدید می‌شوند. پنج تا ده شراره در روز واقعهٔ نامتداولی نیست.

شراره‌های فام‌سپهری از آن رو از نظر علمی مورد توجه اند که در مدت کوتاه عمر خود، به تابش شدید اشعه در طول موج‌های پرتو- X فرابنفش و رادیویی می‌پردازند که با سرعت نور به زمین می‌رسد و در مخابرات رادیویی و در میدان مغناطیسی زمین اختلال ایجاد می‌کند. علاوه بر این، شراره‌های فام‌سپهری ابرهایی از ذرات یونیده (پلاسما) به فضا می‌فرستند که با سرعت هزار کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کنند و این‌ها نیز بر میدان مغناطیسی زمین اثر می‌کنند و شفق‌های قطبی شمالی و جنوبی را پدید می‌آورند.

۱۸-۱۱ خاموشی‌های رادیویی

علت خاموشی‌های رادیویی نور شدید فرابنفشی است که از شراره‌های فام سپهری گسیل می‌شود.

دریافت امواج رادیویی بر روی زمین از فواصل دور، معلول وجود لایه‌های الکتریکی شده‌ای در جو زمین است که مانند آینه، امواج الکترومغناطیسی را به سمت زمین منعکس می‌کند. چندین لایهٔ متحدالمرکز از این قبیل در ارتفاع‌های مختلف تا حدود ۳۰۰ کیلومتر از سطح دریا وجود دارد. این لایه‌ها را مجموعاً یونکره نامند. به شکل ۱۸-۱۱ نگاه کنید.



شکل ۱۸-۱۱ یون‌کره. یون‌کره به مثابه آینه‌ای برای امواج رادیویی عمل می‌کند. امواجی که از آنتن فرستنده در A گسیل شده‌اند از این لایه و از زمین بازتاب پیدا می‌کنند و به این ترتیب می‌توانند به هر نقطه‌ای بر روی زمین برسند.

در غیاب چنین انعکاسی، مخابرهٔ رادیویی فقط در امتداد خط مستقیم امکان‌پذیر است. بدون آن هیچ پیامی نمی‌تواند سطح منحنی زمین را بپیماید و سپس دریافت شود.

حفظ و بقای لایه‌های الکتریکی شده معلول اثر تابش فرابنفشی است که از خورشید گسیل می‌شود و عمل آن تأمین تعداد درست ذرات باردار یا یون‌ها در این لایه‌هاست. وقتی که برخی از این ذرات بار الکتریکی خود را از دست می‌دهند، پرتو فرابنفش جانشین آن‌ها را فراهم می‌کند و این، از برهم‌کنش میان تابش و اتم‌های عادی اکسیژن و نیتروژن در این لایه‌ها است. در این برهم‌کنش‌ها اتم‌ها الکترونی (ذره‌ای با بار منفی) را از دست می‌دهند و اتم‌های بجا

مانده یون‌هایی با بار مثبت می‌شوند.

تابش فرابنفش شراره‌ها، اتم‌های نیتروژن و اکسیژن زیر یون‌کره را یونیده می‌کند و سدی در ارتفاع ۶۰ کیلومتری پدید می‌آورد که مخابرهٔ رادیویی معمولی را مختل می‌کند.

دوام این خاموشی‌ها برابر با عمر شراره یعنی یک ساعت یا بیشتر است. البته قطع شدن مخابرهٔ رادیویی از نظر نظامی بسیار مورد توجه است. تلاش‌هایی انجام شده است تا این اختلالات پیش‌بینی شود، اما این پیش‌بینی‌ها، که عملاً بر فعالیت‌های کلفی مبتنی است، صددرصد قابل اعتماد نیست.

۱۱-۱۹ تغییرات میدان مغناطیسی زمین بر اثر تابش فرابنفش

حرکت یون‌های منفی و مثبتی که تابش فرابنفش شراره‌های فام‌سپهری به‌وجود آورده است موجب جریان‌های الکتریکی می‌شود. جریان‌های الکتریکی، میدانی مغناطیسی ایجاد می‌کند که با میدان مغناطیسی عادی زمین ترکیب می‌شود. میدان مرکب در پاره‌ای مواقع تفاوت بسیار با میدان عادی زمین دارد. در ادوار فعالیت این شراره‌های فام‌سپهری، از قطب‌نماهای عادی دریا (هوا)-نوردی کار چندانی ساخته نیست.

۱۱-۲۰ تغییرات میدان مغناطیسی زمین در اثر شراره‌های فام‌سپهری

شراره‌های فام‌سپهری ابرهایی از ذرات یونیده به فضا می‌فرستند که عمدتاً متشکل از پروتون‌ها و الکترون‌ها است. اندازه‌گیری‌ها حاکی از آن است که به هنگام فوران در حدود ۵۰۰ پروتون و ۵۰۰ الکترون در سانتیمترمکعب با سرعت ۱۰۰۰ کیلومتر در ثانیه یا بیشتر به زمین می‌رسد.

گوشزدها: ۱. این یون‌ها، که در شراره‌ها منشأ می‌گیرند، سوای ۵ پروتون و الکترون در سانتیمترمکعب است که با سرعت ۵۰۰ کیلومتر در ثانیه به هنگام آرام بودن خورشید (یعنی وقتی شراره‌ای موجود نیست) به زمین می‌رسد. جریان اخیر پروتون‌ها و الکترون‌ها به باد خورشیدی موسوم است.

۲. باد خورشیدی عادی موجب می‌شود که خورشید با آهنگی معادل میلیون‌ها تن در ثانیه، جرم از دست بدهد، به هنگام شراره‌های خورشیدی، کاهش جرم چندین برابر آهنگ عادی است.

پروتون‌ها و الکترون‌هایی که از خورشید می‌آیند، جریان‌هایی الکتریکی را پدید می‌آورند. میدان مغناطیسی حاصل از این جریان‌ها (که به طوفان

مغناطیسی موسوم است) به ابزارهایی بر روی زمین، که سنجش صحیح با آن‌ها به میدان‌های مغناطیسی بستگی دارد، صدمه می‌زند. طوفان مغناطیسی در حدود ۲۴ ساعت (یا بیشتر) بعد از فوران خورشیدی بر سطح زمین ظاهر می‌شود، زیرا بیش از یک روز طول می‌کشد تا باد خورشیدی (که با سرعت ۱۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند) ۱۵۰ میلیون کیلومتر فاصلهٔ میان زمین و خورشید را بپیماید.

۱۱-۲۱ شفق‌های قطبی

شفق‌های نیمکرهٔ شمالی را به لاتین اُرورا بورئالیس می‌نامند که ترجمهٔ آن، شفق شمالی است. برای نیمکره جنوبی آن را اُرورا اُسترالیس یا شفق جنوبی می‌نامند. شفق‌ها بیش از همه در عرض‌های جغرافیایی $70°N$ و $70°S$ دیده می‌شوند. شفق‌ها در زمرهٔ جالب‌توجه‌ترین پدیده‌های زمینی اند. آنها به پرده‌هایی عظیم، به طول صدها کیلومتر از نورهای رنگین می‌مانند که بیشتر اوقات سبز اند ولی به رنگ‌های صورتی، ارغوانی و بنفش نیز دیده می‌شوند.

در موارد نادر شفقی قطبی ممکن است سراسر آسمان مرئی، از افق تا سمت‌الرأس را بپوشاند.

تا آنجا که می‌دانیم، شفق‌های قطبی معلول برهم‌کنش باد خورشیدی (الکترون‌ها و پروتون‌ها) با گازهای بیرونی جو زمین اند. شکل شفق سخت متأثر از میدان مغناطیسی زمین است. امتداد حرکت ذرات خورشیدی را در چندین هزار کیلومتر آخر، میدان مغناطیسی زمین هدایت می‌کند.

۱۱-۲۲ گسیل امواج رادیویی

چندین چشمهٔ امواج رادیویی در خورشید وجود دارد.

آ. گسیل تابش رادیویی از خورشید آرام

ب. گسیل مشعلی

پ. طوفان‌های نوفه‌ای

ت. طوفان‌های شراره‌ای

آ. گسیل تابش رادیویی از خورشید آرام. نورسپهر خورشید نیز مانند هر جسم حرارت دیده‌ای امواج رادیویی گسیل می‌کند (به شکل (آ) ۸-۶ نگاه کنید). چون دمای نورسپهر $6000°K$ است، شدت این امواج بسیار کم است. امواج رادیویی با شدت بسیار کم، از جو خورشید نیز گسیل می‌شود.

ب. گسیل مشعلی. این امواج رادیویی چندین مرتبه شدیدتر از گسیل از

خورشید آرام است. اینها از چشمه‌های موضعی گسیل می‌شوند و به نظر می‌رسد که منشأ آن‌ها مشعل‌های خورشیدی باشد.

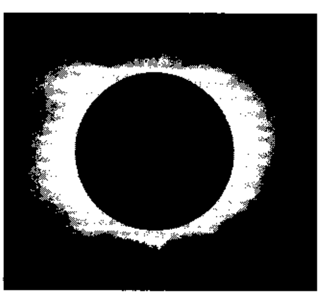
پ. طوفان‌های نوفه‌ای. این امواج نیز گسیل‌هایی بسیار موضعی اند و تا حدود یک صد مرتبه شدیدتر از امواج خورشید آرام اند. چنین به نظر می‌رسد که رابطهٔ نزدیکی میان شدت طوفان‌های نوفه‌ای و اندازهٔ کلف‌های خورشیدی در نورسپهر وجود داشته باشد. هرچه کلف‌ها بزرگ‌تر باشند، این اشعه شدیدتر است.

ت. طوفان‌های شراره‌ای. این اشعه بی‌چون‌وچرا شدیدترین گسیل رادیویی خورشید و از صدها هزار تا میلیون‌ها مرتبه شدیدتر از تابش خورشید آرام است. دلایل بسیار خوبی در دست است که این تابش رادیویی خورشید را معلول برهم کنش جو فوقانی خورشید با پلاسمایی (پروتون‌ها و الکترون‌های متحرک) دانست که با سرعت ۱۰۰۰ کیلومتر در ثانیه از شراره‌های فام سپهری پرتاب می‌شود.

۲۳-۱۱ تاج

تاج بیرونی‌ترین لایهٔ جو خورشید است که در هنگام کسوف خورشید با چشم برهنه دیده می‌شود. در مواقع دیگر نیز می‌توان به کمک وسایل خاصی چون تاج‌نگار، که کسوفی مصنوعی ایجاد می‌کند، آن را دید و از آن عکس‌برداری کرد. تاج، هالهٔ مروارید رنگی است که نقشی ظریف دارد و گرداگرد خورشید را فراگرفته است؛ بسیار بزرگ‌تر از دو لایه‌ای است که در زیر آن قرار دارد و ضخامتش به ۵ر۱ میلیون کیلومتر می‌رسد.

شکل ۲۳-۱۱ تاج. تصویری از تاج خورشیدی به هنگام کسوف خورشید در سال ۱۲۷۹ (۱۹۰۰ میلادی). در این زمان کلف‌ها در حداقل بودند. شکل تاج نسبتاً کشیده است و ضخامت آن در نواحی استوایی خورشید از همه بیشتر است.



شکل تاج رابطهٔ نزدیکی با دورهٔ یازده سالهٔ فعالیت‌های کلفی دارد. هنگامی که کلف‌ها در حداکثر فعالیت اند، تاج دارای شکلی مستدیر است که چند شعاع برجسته از آن بیرون زده است؛ در هنگام حداقل فعالیت کلفی، شکلی کشیده با زائده‌هایی بزرگ و درخشنده دارد. به شکل ۲۳-۱۱ نگاه کنید.

از خصوصیات شایان توجه تاج آن است که دمایش فوق‌العاده زیاد است. این دما که به چند روش مستقل از یکدیگر به دست آمده، برابر با $1{,}000{,}000\ ^\circ K$ است. در زیر چگونگی تعیین این دما به یکی از این روش‌ها و نیز این که دمای $10^6\ ^\circ K$ چه معنایی دارد، شرح داده می‌شود:

آ. چندین خط روشن از خطوط طیف تاج، در طیف نورسپهر نظیری نداشتند. سال‌ها تصور می‌شد این خطوط مربوط به عنصری شیمیایی است که در تاج خورشید وجود دارد و در جای دیگری موجود نیست. آن را کورونیم

نامیده بودند.

ب. اما مطالعات بعدی نشان داد که این خطوط «اسرارآمیز» مربوط به عناصر شیمیایی شناخته شده‌ای چون آهن و کلسیم است که به حالتی بسیار یونیده درآمده‌اند، مثلاً آهن یونیده‌ای که ۱۳ تا از ۲۶ الکترون عادی خود را از دست داده باشد و کلسیم یونیده‌ای که شش تا از ۲۰ الکترون آن جدا شده باشد.

پ. فرض می‌شود که یونش تاج معلول برخورد میان اتم‌هایی است که انرژی جنبشی یا دمای جنبشی بسیار زیادی دارند. محاسبه نشان می‌دهد که برای تحقق چنین درجه‌ای از یونش، دمای جنبشی باید در حدود $^{\circ}K$ ۱،۰۰۰،۰۰۰ باشد

گوشزد: دمای جنبشی دمایی است بر حسب درجهٔ مطلق، که برای مشخص کردن انرژی جنبشی یک ذره (که بر حسب ارگ بیان می‌شود. ارگ واحد کار در دستگاه اندازه‌گیری سانتیمتر-گرم- ثانیه است) به کار می‌رود. برای بیان انرژی احتمالی یک ذره یا دمای جنبشی را به کار می‌برند یا خود انرژی جنبشی را (مثلاً ذره‌ای در دمای متعارفی اطاق- $^{\circ}C$ ۲۰ یا $^{\circ}K$ ۲۹۳- انرژی جنبشی‌ای برابر ۴×۱۰^{-۱۳}ر۰ ارگ دارد و دمای جنبشی آن $^{\circ}K$ ۲۹۳ است). با استفاده از این رابطه می‌توان حساب کرد که ذره‌ای که انرژی آن هزار بار بیشتر، یعنی ۴×۱۰^{-۱۰}ر۰ ارگ، است دما جنبشی‌اش $^{\circ}K$ ۲۹۳،۰۰۰ است).

ت. به نظر می‌رسد که چشمه‌ای که این اتم‌های سریع‌السیر انرژی خود را از آن کسب می‌کنند پوستهٔ همرفتی باشد به ضخامت ۱۰۰،۰۰۰ کیلومتر که در زیر نورسپهر جای دارد. امواجی که در این لایه نشأت می‌کنند اتم‌های تاج را «تکان» می‌دهند و این برخوردها را موجب می‌شوند که سرانجام به یونیدن تاج منجر می‌شود.

۲۴-۱۱ خورطیف‌نگار

بسیاری از اطلاعاتی که دربارهٔ خورشید و جو آن به دست آمده، به کمک دستگاهی حاصل شده است که خورطیف‌نگار نام دارد. این دستگاه، که آن را در سال ۱۸۹۰ استاد جرج ا. هیل[1] (۱۹۳۸-۱۸٦۸) وارد نجوم کرد، دستگاهی بسیار با ارزش بوده است، زیرا منجمان را قادر می‌سازد که به آسانی

1- George E. Hale

توزیع هر عنصری را بر قرص خورشید به دست آورند. منجم می‌تواند در چند دقیقه توزیع ئیدروژن، اکسیژن، کلسیم یا هر عنصر دیگری را در بخشی از سطح خورشید که رو به زمین است به دست آورد.

خورطیف‌نگار نه تنها مکان عنصر را بر سطح خورشید، بلکه سرشت حرکت آن را نیز تعیین می‌کند. مثلاً خورطیف‌نگاشت‌هایی که از نواحی کلفی تهیه شده، حاکی از حرکت گردابی گاز ئیدروژن در آن نواحی است.

این وسیله تشکیل شده است از یک طیف‌نگار معمولی که شکافی اضافی موسوم به شکاف طیف بر آن افزوده شده است. شکافی که بر خورطیف‌نگار قرار دارد، شکاف چشمه نامیده می‌شود. کار شکاف طیف آن است که همهٔ طول موج‌های نور را، جز طول موج مطلوب که شاخص عنصر مورد مطالعه (مثلاً ئیدروژن) است، حذف کند. اگر چشمه دارای ئیدروژن نباشد، نوری وارد شکاف طیف نخواهد شد.

در برابر شکاف طیف یک صفحهٔ عکاسی گذاشته می‌شود که به شکاف چشمه متصل است. هر دو به طور همزمان حرکت می‌کنند. چون شکاف چشمه بر روی تصویر قرص خورشید حرکت کند، صفحهٔ عکاسی نیز در برابر شکاف طیف همان حرکت را تکرار می‌کند. صفحهٔ عکاسی پس از ظهور، مناطقی را روی خورشید نشان خواهد داد که در آن‌ها، فرضاً ئیدروژن وجود دارد. به شکل ۲۴-۱۱ نگاه کنید.

طرز کار خورطیف‌نگار را می‌توان به شرح زیر توضیح داد:

آ. شکاف چشمه نور را از سطح کوچکی از قرص خورشید می‌گیرد.

ب. منشور نور را به طیف‌های آن تجزیه می‌کند.

پ. شکاف طیف فقط به یک خط باریک طیف، که مربوط به یک عنصر است، اجازه عبور می‌دهد که بر صفحهٔ عکاسی بتابد و مواد شیمیایی آن را متأثر سازد. اگر این سطح کوچک از قرص خورشید شامل آن عنصر نباشد هیچ نوری از این شکاف عبور نمی‌کند و مواد شیمیایی صفحهٔ عکاسی در معرض نور قرار نمی‌گیرد.

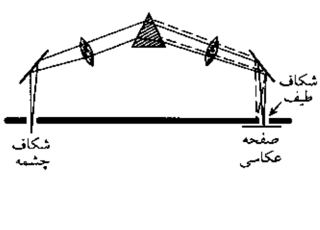
ت. سپس شکاف چشمه، همآهنگ با صفحهٔ عکاسی، به ناحیهٔ دیگری از قرص خورشید حرکت می‌کند و سپس به ناحیه‌ای دیگر تا آن که تمام قرص پیموده شود.

شکل ۲۴-۱۱ خورطیف‌نگار. شکاف چشمه و شکاف طیف به طور صلب به یکدیگر متصل شده‌اند. وقتی که اولی بر روی قرص خورشید جابجا می‌شود دومی نیز هماهنگ با آن بر صفحهٔ عکاسی حرکت می‌کند.

شکاف چشمه از یک باریکه بسیار نازک قرص خورشیدنور می‌گیرد. نور گرفته شده به وسیلهٔ منشور به تعداد زیادی طول موج تجزیه می‌شود. شکاف طیف با طول موج خاصی که شاخص یکی از عناصر، مثلاً «ئیدروژن» است تنظیم می‌گردد.

با جابجا کردن هماهنگ دو شکاف، هربار که در سطح قرص ئیدروژن وجود داشته باشد، طول موج‌های شاخص آن از شکاف طیف می‌گذرد و با مواد شیمیایی صفحه عکاسی به واکنش می‌پردازد. در هر جای قرص خورشید که این عنصر وجود نداشته باشد نوری از شکاف طیف نمی‌گذرد و این قسمت خاص از نگاتیو در معرض نور قرار نمی‌گیرد.

با حرکت شکاف چشمه بر روی تصویر خورشید می‌توان مکان ئیدروژن را بر سطح خورشید پیدا کرد.



گوشزد: این وسیله بیشتر همراه با تصویر قرص خورشید به کار می‌رود. آن را نمی‌توان در مورد ستارگان به کار برد زیرا آن‌ها، حتی در بزرگنمایی‌های

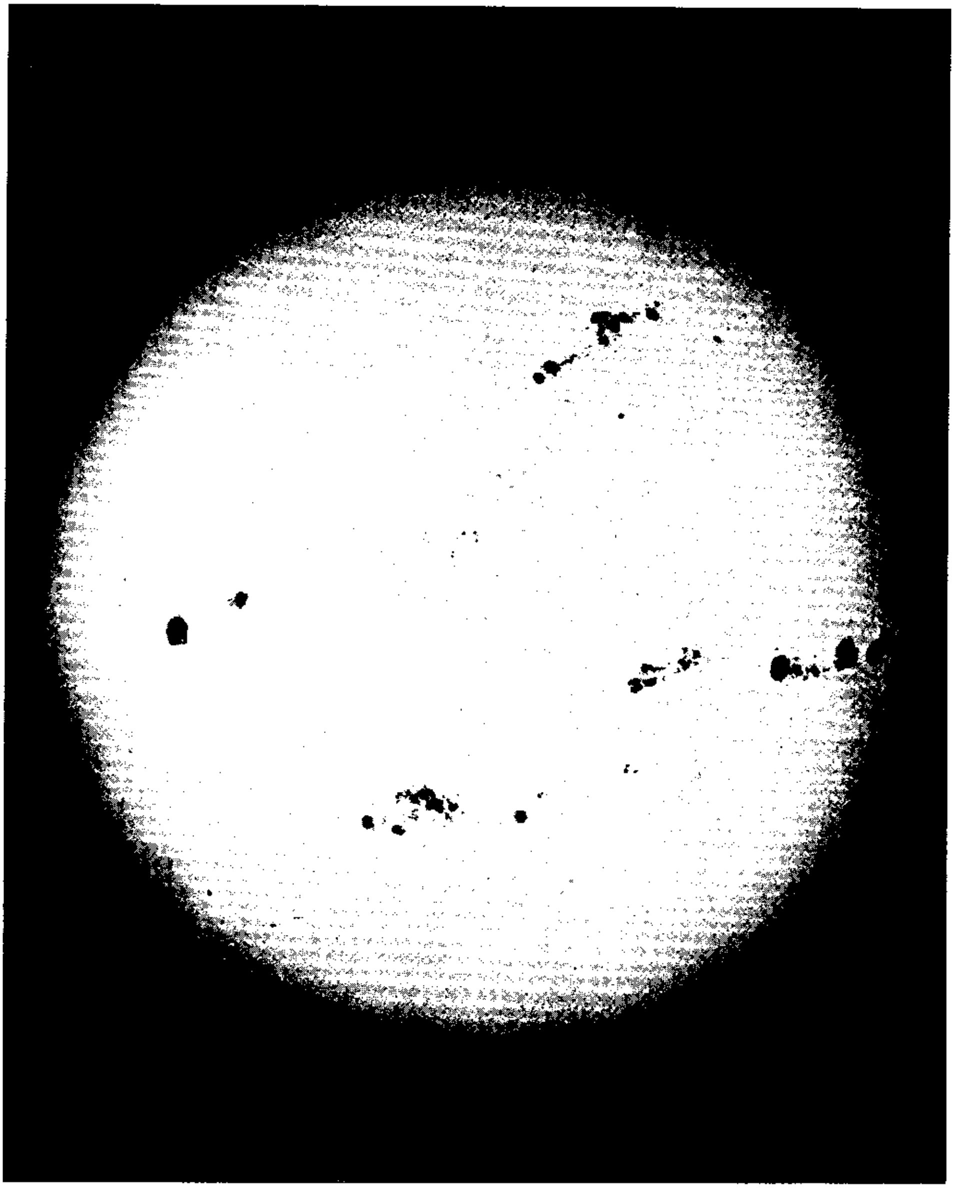
بسیار زیاد نیز چون نقاطی نورانی به نظر می‌رسند. خورطیف‌نگار چندان به کار سیارات هم نمی‌آید، زیرا نور آن‌ها صرفاً نوری بازتابیده است.

* ۲۵-۱۱ پژوهش‌های جدید

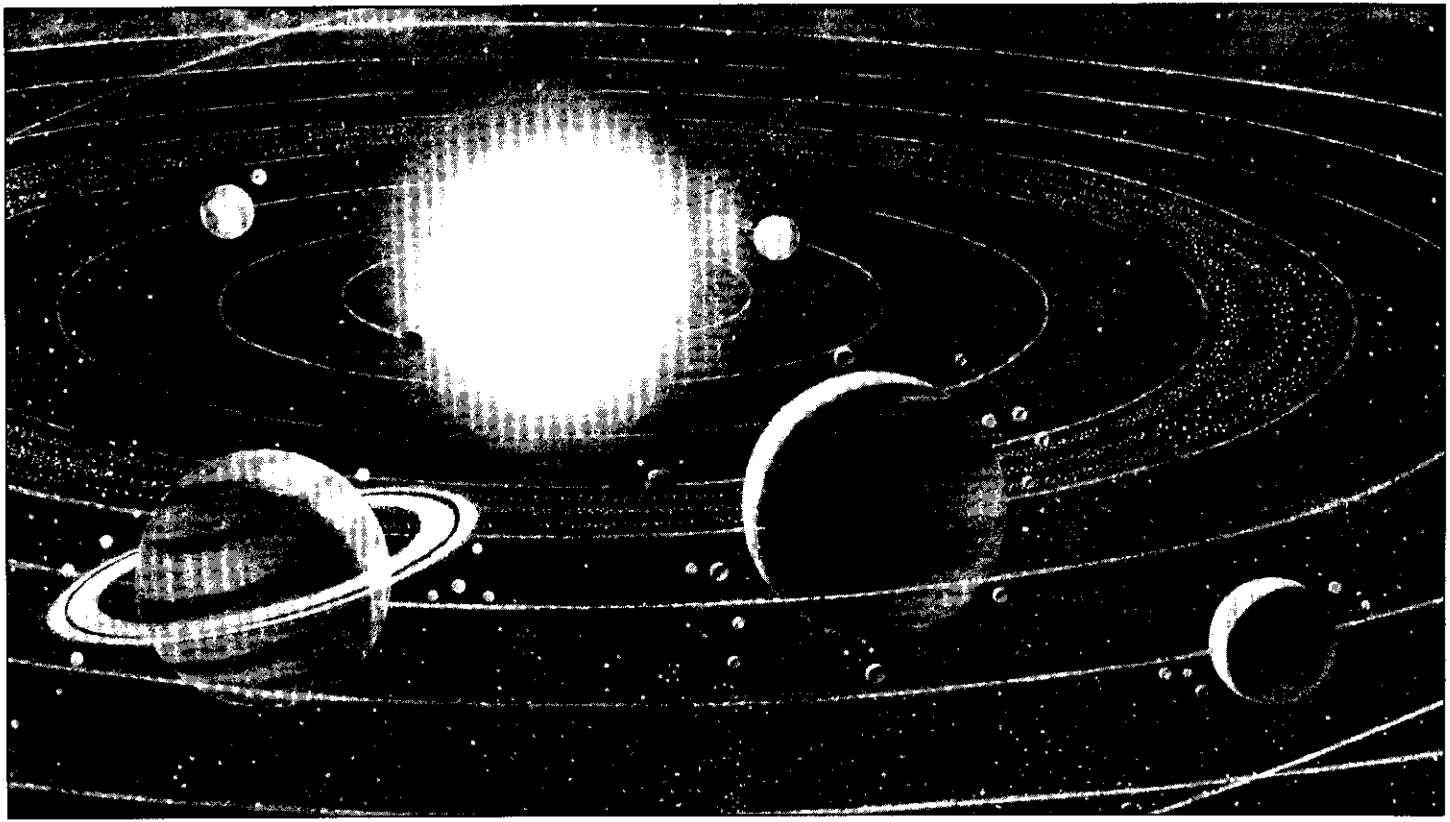
با آن که ده‌ها سال است که خورشید مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته است، ولی هنوز سازوکارهای درونی آن را خوب نمی‌شناسیم. سؤال‌های زیادی وجود دارد که باید جواب داد. دمای هستهٔ خورشید چقدر است؟ آیا هستهٔ خورشید دوران می‌کند و با چه سرعتی؟ عمق ناحیه همرفت در سطح خورشید چقدر است؟ نوترینوهایی که در فرایندهای گرما هسته‌ای مرکز خورشید تولید می‌شوند، کجا اند؟ و بسیاری سؤال‌های دیگر.

از زمانی که نوسانات و امواج لرزه‌ای سطح خورشید کشف شد، راه‌های جدیدی برای پی‌بردن به اسرار عمق خورشید گشوده شد. علم جدید خور-لرزه‌شناسی که فقط دو دهه از عمر آن می‌گذرد، پاسخ‌گویی به برخی از این سؤالات را نشانه رفته است. در این دو دهه، دانشمندان کوشیده‌اند که با مطالعهٔ «امواج صوتی» ناشی از لرزه‌های خورشیدی، زیر سطح خورشید را ببینند. این امواج صوتی، داخل خورشید را در می‌نوردند؛ و کم و بیش به همان شیوه‌ای که امواج لرزه‌ای زمین، اطلاعاتی از داخل زمین در اختیار زمین‌شناسان می‌گذارد، این امواج نیز فرایندهای درون خورشید را بر ما می‌گشاید. این مطالعات نشان داده است که در سراسر خورشید (چون ناقوسی بزرگ) امواج صوتی طنین‌انداز است. این امواج در داخل خورشید به دام افتاده‌اند و با سرعت چند صد کیلومتر در ثانیه درون خورشید را درمی‌نوردند. چون به سطح خورشید می‌رسند، به داخل منعکس می‌شوند و در عین حال گازهای سطح را به نوسان وامی‌دارند.

رصدخانه خورشیدی و هلیوسفری (SOHO) که در ۱۹۹۵ پرتاب شد، این نوسانات را آشکارسازی می‌کند و تا کنون اطلاعات زیادی از آهنگ دوران درونی خورشید و آهنگ انتقال انرژی مغناطیسی از سطح مرئی خورشید به تاج خورشیدی در اختیار ما قرار داده است. کاوهٔ فضایی اولیس (Ulysses) که در اوایل دههٔ ۹۰ راهی خورشید شد، به بررسی جو خورشید و قطب‌های مغناطیسی خورشید پرداخت. از نتایج حیرت‌آور آن در ۱۹۹۴ این بود که نیمکرهٔ جنوبی خورشید قطب مغناطیسی ثابت و مشخصی ندارد. *



خورشید و کلف‌های آن. تعداد زیاد کلف‌ها دال بر آن است که عکس در هنگام حداکثر فعالیت کلفی گرفته شده است. (عکس از رصدخانه‌های هیل).



منظومهٔ شمسی. صفحهٔ حرکت سیارات بر گرد خورشید تقریباً همان صفحهٔ مدار زمین است (پلوتون که از این قاعده پیروی نمی‌کند در شکل نشان داده نشده است). سیارک‌ها در فاصلهٔ مدار مریخ و مدار مشتری پراکنده‌اند. (فواصل و اندازه‌ها به مقیاس نیست).

قسمت دوم: مکانیک منظومهٔ شمسی

مقدمه

منظومهٔ شمسی تشکیل شده است از خورشید، سیارات و قمرهای آن‌ها، سیارک‌ها، ستاره‌های دنباله‌دار، شهاب‌سنگ‌ها و غبار. نام «منظومه» و صفت «شمسی» بسیار بجا و مناسب است.

«شمسی» حاکی از آن است که خورشید فرمانروا است: در حدود ۹ر۹۹ درصد همه مادهٔ این منظومه در خورشید جمع است. (جرم همهٔ سیارات، قمرها و غیره ۱ر۰ دیگر را تشکیل می‌دهد). حاصل این توزیع جرم این است که خورشید پرجرم «تقریباً» ساکن است و همهٔ اجرام «سبک‌تر» بر گرد آن می‌گردند.

واژهٔ «منظومه» بر آن دلالت می‌کند که همهٔ اجرام آن در حرکت‌های خود نظم سترگی را رعایت می‌کنند. چندین قرن است که قوانین ناظر بر این حرکت‌ها شناخته شده است. در زمرهٔ این قوانین سه قانون، که به نام کاشف آن‌ها (یوهانس کپلر) معروف اند و قانون گرانش عام (که نخستین بار به وسیلهٔ آیزک نیوتن بیان شد) از اهمیت بسیار برخوردار اند.

۲۶-۱۱ قانون اول کپلر دربارهٔ حرکت سیارات

این قانون حکم می‌کند که مدار هر سیاره بیضی ای است که خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد.

نمایش:

هدف: رسم یک بیضی

وسایل: مداد، یک قطعه نخ، دو سنجاق، کاغذ

روش کار:

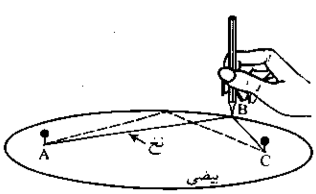
۱- نخ را چنان قرار دهید که زاویهٔ ABC را بسازد.

۲- با سنجاق دو انتهای A و C را ثابت کنید و نوک مداد را در B قرار دهید.

۳- نخ راکشیده نگه داشته مداد را حرکت دهید تا منحنی تخم مرغی شکلی رسم شود. به شکل (آ)۲۶-۱۱ نگاه کنید.

نتیجه: منحنی‌ای که مداد رسم کرده یک بیضی است. دو نقطه‌ای که با سنجاق

شکل (آ)۲۶-۱۱ رسم کردن بیضی. دو سر نخ را در نقاط A و B ثابت نگه دارید. نخ را بکشید مداد را در حالی که نخ کاملاً کشیده است حرکت دهید تا منحنی تخم‌مرغی شکلی رسم شود، A یک کانون بیضی و C کانون دیگر آن است.



ثابت نگه داشته شده‌اند کانون‌های بیضی نامیده می‌شوند.

مسئله (آ)۲۶-۱۱

بیضی‌ای داده شده است. قطر اطول آن ۵ سانتیمتر و قطر اقصر آن ۳ سانتیمتر است. پیدا کنید: ۱- فاصلهٔ میان دو کانون را؛ ۲- خروج از مرکز بیضی را.

جواب: ۱- قطر اطول، قطر اقصر و فاصلهٔ بین دو کانون با فرمول ساده‌ای به هم مربوط اند. اگر طول قطر اطول را به a و طول قطر اقصر را به b و فاصلهٔ میان کانون‌ها به c نشان داده شود، این فرمول عبارت است از:

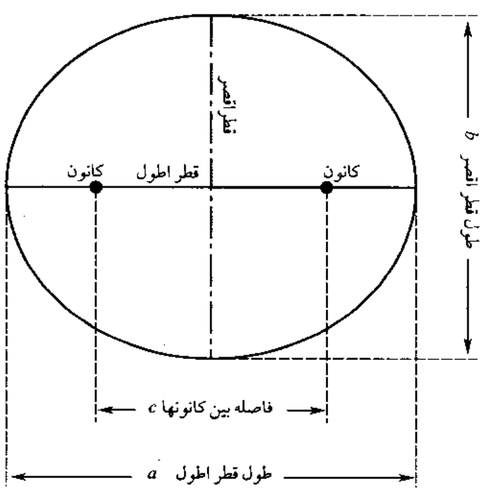
$$b^2+c^2=a^2 \quad \text{یا} \quad c=\sqrt{a^2-b^2}$$

در این مسئله $c=\sqrt{5^2-3^2}=4\text{cm}$. فاصلهٔ بین کانون‌ها ۴ سانتیمتر است. به شکل (ب)۲۶-۱۱ نگاه کنید.

۲. «خروج از مرکز» یک بیضی با نسبت فاصلهٔ میان کانون‌ها به قطر اطول آن تعریف می‌شود. آن را به e نشان می‌دهند.

$$e=\frac{c}{a}$$

این نسبت در مورد بیضی همیشه بزرگ‌تر از ۰ و کوچک‌تر از ۱ است. این کمیت نشان می‌دهد که بیضی تا چه حد نسبت به دایره «خارج از مرکز» است. وقتی که این نسبت کوچک، مثلاً ۱ر ۰ باشد بیضی اندکی خارج از مرکز است؛ تقریباً به صورت دایره است. وقتی خروج از مرکز بزرگ مثلاً ۸ر ۰ باشد



شکل (ب)۲۶-۱۱ در یک بیضی طول قطر اطول a، و طول قطر اقصر b، و فاصلهٔ بین کانون‌ها c، با فرمول $b^2+c^2=a^2$ به یکدیگر مربوط هستند.

بیضی بسیارکشیده است. در این مسئله خروج از مرکز برابر است با:

$$e = \frac{۴}{۵} = ۰٫۸$$

سیارات در مدارهای تقریباً مستدیر حرکت می‌کنند. خروج از مرکز زهره و زمین به ترتیب عبارت است از ۰٫۰۱ و ۰٫۰۲.

ستاره‌های دنباله‌دار مدارهایی کشیده دارند. مدار ستارهٔ دنباله‌دار هالی بیضی‌ای با خروج ازمرکز ۰٫۹۷ است.

۱۱-۲۷ قانون دوم کپلر دربارهٔ حرکت سیارات

این قانون به سرعت سیارات در مدارهای خود می‌پردازد. این سرعت ثابت نیست؛ سیارات هرچه به خورشید نزدیک‌تر شوند سریع‌تر حرکت می‌کنند. هر سیاره حداکثر سرعت خود را زمانی دارد که از هر وقت دیگر به خورشید نزدیک‌تر است و زمانی حداقل سرعت را دارد که دورتر است. نقطه‌ای بر مدار که از همهٔ نقاط دیگر به خورشید نزدیک‌تر است حضیض خورشیدی نام دارد و دورترین نقطه اوج خورشیدی نامیده می‌شود.

هرچند که سرعت‌های سیارات در مدارهای خود ثابت نیست، کمیت دیگری که با سرعت رابطهٔ نزدیک دارد ثابت است و آن سرعتی است که خط واصل خورشید وسیاره مساحات را جارو می‌کند.

بیان صوری این مطلب قانون دوم کپلر است: شعاع حامل هر سیاره در بازه‌های زمانی مساوی مساحت‌های مساوی را می‌پیماید.

شعاع حامل خطی فرضی است که خورشید را به سیاره وصل می‌کند؛ این شعاع در حضیض خورشیدی کوتاه و در اوج خورشیدی بلند است.

قانون دوم دال بر آن است که سیاره در اوج خورشیدی خود باید کندتر از حضیض حرکت کند تا بتواند مساحت‌های مساوی را بر روی بیضی جارو کند. به شکل ۱۱-۲۷ نگاه کنید.

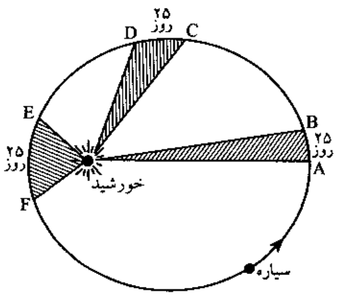
سرعت متوسط زمین بر روی مدارش به دور خورشید ۳۰ کیلومتر بر ثانیه است. چون مدار زمین تقریباً یک دایره است، سرعت چندان در طول مسیر تغییر نمی‌کند. زمین در اوج خورشیدی خود کمتر از یک کیلومتر در ثانیه کندتر از حضیض خورشیدی خود حرکت می‌کند.

در مورد مدارهایی که خروج از مرکزشان زیاد است، مثلاً مدارهایی که ستاره‌های دنباله‌دار می‌پیمایند، سرعت مداری زیاد تغییر می‌کند. سرعت ستاره دنباله‌دار هالی، هنگامی که در حضیض خورشیدی است ۱۶ کیلومتر بر ثانیه

شکل ۱۱-۲۷ قانون دوم کپلر در مورد حرکت سیارات. شعاع حامل مساحت‌های مساوی را (سه مساحت هاشور زده شده است) در زمان‌های مساوی (۲۵ روز) می‌پیماید.

در اوج خورشیدی سیاره نسبتاً به کندی از A به B می‌رود. در حضیض خورشیدی سیاره با سرعت بیشتری فاصلهٔ E به F را می‌پیماید.

اصطلاح شعاع حامل که در بیان صوری قانون به کار می‌رود، خطی است تصوری که خورشید را به سیاره وصل می‌کند. خطوط واصل خورشید به A یا خورشید به B یا خورشید به D و غیره شعاع‌های حامل هستند.



است حال آن که در اوج خورشیدی سرعتی کمتر از ۵ر۱ کیلومتر بر ثانیه دارد.

۲۸-۱۱ قانون سوم کپلر دربارهٔ حرکت سیارات

قانون سوم به رابطهٔ میان دورهٔ تناوب سیاره و فاصلهٔ متوسط آن از خورشید مربوط می‌شود. «دورهٔ تناوب» مدت زمانی است که طول می‌کشد تا سیاره‌ای یک دور کامل بر گرد خورشید بگردد. این زمان برای زمین برابر ۲۶ر۳۶۵ روز است. برای سیارهٔ عطارد فقط ۸۸ روز و برای پلوتون، دورترین سیارهٔ منظومهٔ شمسی، برابر ۲۴۸ سال است.

بنا بر قانون سوم کپلر مربع دوره‌های تناوب هر دو سیاره متناسب است با مکعب فاصله‌های متوسط آن‌ها از خورشید.

این قانون را می‌توان به صورت معادله‌ای جبری نوشت. فرض کنید که دو سیاره را A و B بنامیم.

$$\frac{(\text{فاصلهٔ متوسط A از خورشید})^3}{(\text{فاصلهٔ متوسط B از خورشید})^3}=\frac{(\text{دورهٔ تناوب A})^2}{(\text{دورهٔ تناوب B})^2}$$

اگر اطلاعات مربوط به زمین برای یکی از این دو سیاره، فرضاً B، به کار رود، معادلهٔ بالا به صورت زیر درمی‌آید:

$$\frac{(\text{فاصلهٔ متوسط A از خورشید})^3}{(150{,}000{,}000)^3}=\frac{(\text{دورهٔ تناوب A})^2}{(365/26)^2}$$

این معادله دارای دو متغیر است: دورهٔ تناوب سیاره و فاصلهٔ متوسط آن. اگر یکی از این دو از راه رصد به دست آید دیگری را می‌توان محاسبه کرد.

مسئله ۲۸-۱۱

دورهٔ تناوب سیارهٔ مریخ ۶۸۷ روز است. فاصلهٔ متوسط مریخ را از خورشید حساب کنید.

حل مسئله:

اطلاعات داده شده را در معادله می‌گذاریم.

$$\frac{(\text{فاصلهٔ متوسط مریخ از خورشید})^3}{(150{,}000{,}000)^3}=\frac{(687)^2}{(365)^2}$$

جواب: فاصلهٔ مریخ از خورشید برابر ۲۳۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر است.

گوشزد: قانون سوم کپلر، کامل نیست. صورت کامل آن را نیوتن به دست آورد. در این شکل کامل «مربع دوره‌های تناوب» باید در مجموع جرم‌های خورشید و سیاره ضرب شود. معادله صحیح چنین است:

$$\frac{(\text{فاصله متوسط A})^3}{(\text{فاصله متوسط B})^3} = \frac{(\text{جرم خورشید + جرم سیاره A})\ (\text{دوره تناوب A})^2}{(\text{جرم خورشید + جرم سیاره B})\ (\text{دوره تناوب B})^2}$$

۱۱-۲۹ ارزیابی سه قانون کپلر

کشف این قوانین رویدادی مهم، نه تنها در تاریخ نجوم، بلکه در تاریخ علم به طور کلی بود. این کشف نه فقط یادبودی ابدی از نبوغ کپلر به شمار می‌رود بلکه نشانه‌ای است از دلبستگی او به علم که رنج و شکیبایی فوق‌العاده‌ای را به خاطر آن بر خود هموار کرد.

اما در این قوانین نقصی وجود داشت، نقصی بسیار مهم. قوانین کپلر دلیل رفتار سیارات را توضیح نمی‌دادند، این که چرا در مدارهایی بیضوی حرکت می‌کنند و یا چرا سرعت‌هایشان به صورتی که گفته شد تغییر می‌کند.

پاسخ این پرسش‌ها اندک زمانی بعد در کتاب دوران‌ساز سر آیزک نیوتن، «اصول ریاضی حکمت طبیعی» داده شد. نیوتن در این کتاب نشان داد که سیارات به دلیل یک قانون عام و بنیادی چنین رفتاری دارند: قانون گرانش. سه قانون کپلر جز پیامدهای این قانون عام نیست.

۱۱-۳۰ قانون عام گرانش نیوتن

این قانون به نیروهایی می‌پردازد که میان اشیاء مادی در کار است، و چنین حکم می‌کند که هر ذرهٔ ماده، همهٔ ذرات دیگر ماده را با نیرویی جذب می‌کند که تابع سه عامل زیر است:

آ. جرم جسم

ب. جرم جسم دیگر

پ. فاصلهٔ میان این اجسام

این سه عامل را معمولاً به ترتیب با علامت‌های m, M و r نشان می‌دهند.

بیان صوری این قانون چنین است: هر ذرهٔ ماده در جهان هر ذرهٔ دیگر را با نیرویی جذب می‌کند که متناسب با حاصل ضرب جرم‌های آن‌ها است و با مجذور فاصلهٔ میان آن‌ها نسبت عکس دارد.

این قانون را می‌توان به صورت معادله‌ای جبری نیز بیان کرد:

$$F(\text{نیروی گرانش}) = G\times \frac{Mm}{r^{2}}$$

G ثابت عام گرانش نامیده می‌شود. هرگاه M و m را برحسب گرم و r را بر حسب سانتیمتر بیان کنیم، مقدار G برابر است با $۶٫۷\times ۱۰^{-۸}$. در این صورت فرمول قانون عام گرانش چنین نوشته می‌شود.

با $$F = ۶٫۷\times ۱۰^{-۸}\frac{Mm}{r^{2}}$$

مسئله ۱۱-۳۰:

جرمی ۲۰۰۰ گرمی در فاصلهٔ ۲٫۵۴ سانتیمتری جسم دیگری به جرم ۵۰۰۰ گرم قرار گرفته است. نیروی جاذبهٔ میان این دو جسم را به دست آورید.

$$F = ۶٫۷\times ۱۰^{-۸}\times \frac{۲٬۰۰۰\times ۵٬۰۰۰}{(۲٫۵۴)^{۲}} = ۰٫۱ \text{ دین}$$

جواب: نیرویی که با آن هریک از این دو جرم دیگری را جذب می‌کند، ۰٫۱ دین است.

یک دین نیروی فوق‌العاده کوچکی است، بسیار کوچک‌تر از نیروی وزن جسمی به جرم یک کیلوگرم. وزن چنین جسمی تقریباً برابر ۱٬۰۰۰٬۰۰۰ دین است.

۱۱-۳۱ کاربرد قانون گرانش

این قانون در حل مسائل گوناگون به ما کمک بسیار کرده است. مهم‌ترین این مسائل عبارت اند از:

آ. سقوط آزاد اجسام. هر جسمی که به‌گونه‌ای نگه داشته نشده باشد، به سمت مرکز زمین سقوط خواهد کرد.

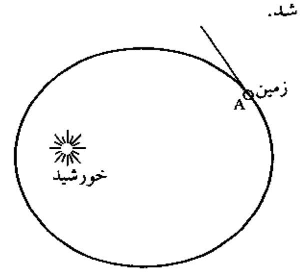
ب. جزر و مد اقیانوس‌ها و جزر و مد جو

پ. حرکت ستاره‌های دنباله‌دار

ت. تقدیم اعتدالین

ث. حرکت سیارات. اگر نیروی گرانش میان زمین و خورشید وارد نیاید زمین مماس بر مسیر خود، پرتاب خواهد شد. از نتایج مستقیم این قانون است که سیارات برگرد خورشید می‌گردند. این نتیجه در شکل ۱۱-۳۱ نموده شده

شکل ۱۱-۳۱ اثر جاذبهٔ گرانشی. بر اثر جاذبهٔ گرانشی خورشید است که زمین به حرکت در مدار خود ادامه می‌دهد. اگر این جاذبه وجود نداشته باشد، زمین مدار بیضی شکل خود را ترک می‌گوید و در امتدادی مماس بر مسیر، مثلاً در نقطهٔ A، پیوسته از خورشید دور خواهد شد.



است.

نه سیاره در مدارهایی بیضی شکل به فواصل مختلف بر گرد خورشید، در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند.

البته با آن که گرانش برای ستارگان و کهکشان‌ها هم وجود دارد، ولی اثر آن را به سهولت بیشتر در مورد سیارات می‌توان مشاهده کرد، زیرا یک جرم بزرگ (خورشید) بر چندین جرم کوچک‌تر و نزدیک به آن (سیارات) تأثیر می‌کند. پریشیدگی حاصل از ستارگان دوردست بر این حرکات فوق‌العاده ناچیز است.

۱۱-۳۲ حرکت ظاهری سیارات به صورتی که از زمین دیده می‌شود

حرکت واقعی سیارات را نمی‌توان از زمین مشاهده کرد، زیرا زمین خود پیوسته در حرکت است. رصدها فقط حاکی از حرکت سیارات نسبت به زمین اند. در بعضی مواقع سرعت نسبی سیاره‌ای نسبت به زمین بیشتر از سرعت واقعی آن است، مانند موقعی که زمین و سیاره در امتدادهای مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند. در مواقع دیگر سرعت نسبی کمتر از سرعت واقعی است، مثلاً موقعی که سیاره و زمین در یک امتداد حرکت می‌کنند.

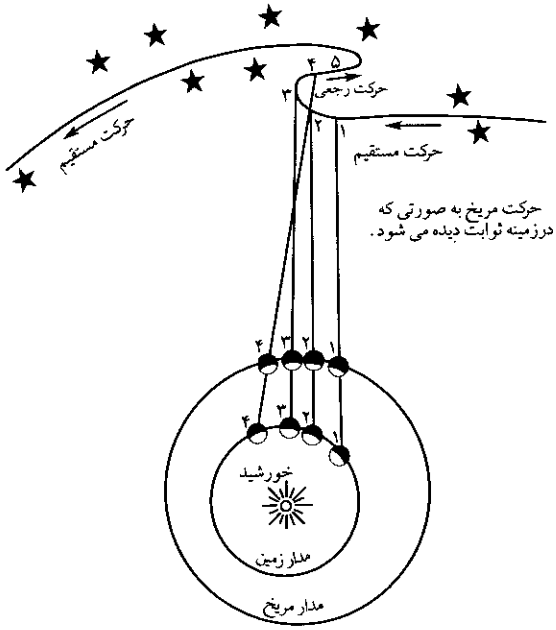
چیزی که در حرکت سیارات شایستهٔ توجه خاص است، مرحلهٔ حرکت رجعی است که در آن به نظر می‌رسد که سیاره در جهتی خلاف جهت عادیش حرکت می‌کند، به شکل (آ) ۳۲-۱۱ نگاه کنید.

شکل (آ) ۳۲-۱۱ حرکت رجعی. حرکت سیاره بر زمینهٔ کرهٔ آسمان در نقطهٔ A در امتداد عادی است (این حرکت مستقیم نامیده می‌شود) و چنین است تا آن که سیاره به نقطهٔ B می‌رسد. از B تا C حرکت در جهت مخالف است (حرکت رجعی). در نقطهٔ C سیاره تغییر جهت می‌دهد و به حرکت مستقیم پیش می‌رود.

قرن‌های متمادی حرکت به عقب یا حرکت رجعی چند سیاره، منجمان را به حیرت افکنده بود، تا آن که سرانجام کوپرنیکوس آن را توضیح داد. آوردن یک مثال به تجسم حرکت رجعی ظاهری کمک می‌کند.

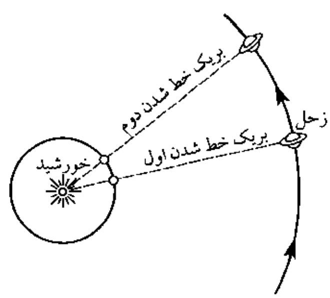
فرض کنید که دایرهٔ داخلی در شکل (ب) ۳۲-۱۱ مدار زمین را به دور خورشید نشان دهد و دایرهٔ بیرونی مدار مریخ را. زمین که به خورشید نزدیک‌تر است، تندتر از مریخ حرکت می‌کند. فرض کنید که قسمت بالای تصویر، بخشی از کرهٔ آسمان باشد. این کره به مثابهٔ زمینه‌ای است که حرکت مریخ بر آن مشاهده می‌شود.

هنگامی که زمین در مکان ۱ است، مریخ در مکان ۱ بر کرهٔ آسمان دیده می‌شود. چند هفته بعد زمین و مریخ هر دو در مدارهایشان جابجا شده اند. مریخ اینک در نقطهٔ ۲ است. وقتی که زمین از نقاط ۳ و ۴ می‌گذرد، خطی که حرکت مریخ را بر کرهٔ آسمان نشان می‌دهد، مسیر جسمی با حرکت رجعی خواهد بود.



شکل (ب) ۳۲-۱۱ توضیح حرکت رجعی. زمین که از مریخ به خورشید نزدیک‌تر است تندتر از مریخ حرکت می‌کند(زمین یک دور کامل را در ۳٦۵ روز می‌پیماید و مریخ در ٦۸۷ روز). در نقطهٔ ۱، مریخ بر زمین «پیشی» دارد، حرکت آن مستقیم است. در نقطهٔ ۴ زمین از مریخ جلو افتاده است و حرکت مریخ رجعی به نظر می‌رسد.

شکل (آ) ۳۲-۱۱ دورهٔ تناوب هلالی زحل. این دورهٔ تناوب، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا دوبار متوالی خورشید و زمین و زحل بر یک خط مستقیم قرار گیرند. دورهٔ تناوب هلالی زحل ۳۷۸ روز است. این مدت متشکل است از ۳٦۵ روز برای یک بار گردش کامل زمین به دور خورشید به اضافهٔ ۱۳ روز که لازم است تا زمین پیش برود تا به زحل برسد، زیرا زحل در این فاصله به موضع جدیدی منتقل شده است.



۳۳-۱۱ دورهٔ تناوب نجومی و دورهٔ تناوب هلالی یک سیاره

در مورد سیارات دو تعریف از دورهٔ تناوب وجود دارد. (آ) دورهٔ تناوب نجومی و (ب) دورهٔ تناوب هلالی. به علت حرکت زمین، طول زمان این دو دورهٔ تناوب با هم فرق دارد.

آ. دورهٔ تناوب نجومی زمانی است که طول می‌کشد تا سیاره یک گردش کامل را بر مدار خود بپیماید. صورت دیگر بیان مطلب این است: مدت زمان لازم برای آن که سیاره، از دیدگاه خورشید، یک دور کامل را بر کرهٔ آسمان طی کند.

ب. دورهٔ تناوب هلالی، که در آن حرکت زمین دخیل است، مدت زمانی است که از یک بار قرار گرفتن خورشید، زمین و سیاره در یک امتداد معین تا دفعهٔ بعدی طول می‌کشد. چون هم زمین و هم سیاره حرکت می‌کنند، دورهٔ تناوب هلالی تفاوت قابل ملاحظه‌ای با دورهٔ تناوب نجومی دارد.

به‌این ترتیب دورهٔ تناوب نجومی مریخ ٦۸۷ روز است، در حالی که دوره تناوب هلالی آن ۷۸۰ روز می‌باشد.

در مورد زحل، دوره‌های تناوب نجومی و هلالی به ترتیب عبارت اند از ۲۹٫۵ سال و ۳۷۸ روز. اولی دال بر آن است که در حدود ۳۰ سال طول

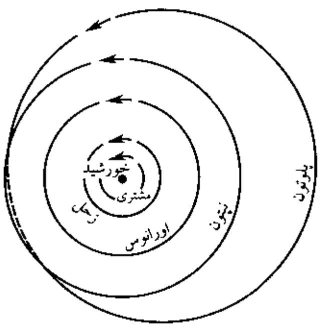
می‌کشد تا زحل یک بار کامل مدار خود را به دور خورشید بپیماید؛ ولی دومی به این معنی است که هر ۳۷۸ روز یک بار خورشید و زمین و زحل در امتداد یک خط مستقیم قرار می‌گیرند. این مطلب در شکل (آ) ۳۳-۱۱ نشان داده شده است.

این ۳۷۸ روز مرکب است از: (آ) مدت یک بار گردش زمین به دور خورشید (۳۶۵ روز) و (ب) ۱۳ روز که برای رسیدن زمین به زحل لازم است زیرا زحل در این فاصله به مکان دیگری در مدار خود منتقل شده است.

برای محاسبهٔ دوره‌های تناوب هلالی سیارات، دو فرمول ساده وجود دارد. یکی از این دو برای سیارات زیرین (سفلی) است و دیگری برای سیارات زبرین (علوی).

عطارد و زهره سیارات زیرین اند. این دو از زمین به خورشید نزدیک‌تر اند. مدارهای سیارات زبرین در بیرون مدار زمین قرار دارند. به شکل (ب) ۳۳-۱۱ نگاه کنید.

شکل (ب) ۳۳-۱۱ مدارهای سیارات زبرین. مدارها بیضی‌هایی اند با خروج ازمرکز کم و از این رو به دایره می‌مانند. همهٔ سیارات در خلاف جهت عقربه‌های ساعت، به صورتی که پیکان‌ها نشان می‌دهند، حرکت می‌کنند. طول هر پیکان فاصله‌ای را نشان می‌دهد که سیاره در یک سال می‌پیماید. چهار سیاره دیگر (که نشان داده نشده‌اند)، بر مدارهایی در داخل مدار مشتری حرکت می‌کنند.



فرمول مربوط به سیارات زیرین چنین است:

$$\text{دورهٔ تناوب هلالی یک سیاره} = \frac{۳۶۰}{P - E}$$

P عدهٔ درجات قوسی است که سیاره در یک روز بر مدارش می‌پیماید، E تعداد درجاتی است که زمین بر مدارش در یک روز طی می‌کند.

برای عطارد،

$$P = \frac{۳۶۰}{۸۸}$$

$$E = \frac{۳۶۰}{۳۶۵\frac{۱}{۴}}$$

اگر این اعداد را در فرمول بگذاریم، به دست می‌آوریم:

$$\text{دورهٔ هلالی عطارد} = \frac{۳۶۰}{\frac{۳۶۰}{۸۸} - \frac{۳۶۰}{۳۶۵\frac{۱}{۴}}} = ۱۱۶ \quad \text{روز}$$

فرمول مربوط به سیارات زبرین چنین است:

$$\text{دورهٔ تناوب هلالی یک سیارهٔ زبرین} = \frac{۳۶۰}{E - P}$$

که در آن E و P همان معنایی را دارند که در فرمول قبلی داشتند.

اثبات این فرمول دوم بسیار آسان است. مخرج، $E - P$، عبارت از تعداد درجاتی است که زمین در یک روز از سیاره جلو می‌افتد. اما در یک دورهٔ تناوب هلالی، زمین یک دور کامل (°۳۶۰) از سیاره جلو می‌افتد، بنابراین، این دورهٔ تناوب برابر است با تعداد دفعاتی که $(E - P)$ در ۳۶۰ وجود دارد.

مسئلهٔ ۳۳-۱۱

دورهٔ تناوب هلالی مریخ را حساب کنید.

داده شده: دورهٔ تناوب نجومی زمین $\frac{1}{4}$ ۳۶۵ روز است،

پس
$$E = \frac{360}{365\frac{1}{4}}$$

و دورهٔ تناوب نجومی مریخ ۶۸۷ روز است و یا $P = \frac{360}{687}$

جواب: دورهٔ تناوب هلالی ۷۸۰ روز است.

قسمت سوم: اطلاعات اساسی مربوط به سیارات: چگونه این اطلاعات را به دست می‌آوریم؟

۳۴-۱۱ مقدمه

در حال حاضر در مورد هر سیاره مقدار زیادی اطلاعات موجود است. این اطلاعات شامل ابعاد آن‌ها و نیز داده‌های فیزیکی و مداری دیگر می‌شود. در این قسمت به روش‌هایی که برای به دست آوردن برخی از این مقادیر به کار می‌رود، اشاره خواهد شد.

۳۵-۱۱ فاصله از خورشید

یک راه نسبتاً دقیق برای تعیین فاصلهٔ یک سیاره از خورشید آن است که قانون سوم کپلر را به کار بریم. اگر فاصله بر حسب واحد نجومی و دورهٔ تناوب نجومی بر حسب سال سنجیده شوند، قانون سوم را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(\text{دوره تناوب یک سیاره})^2 = (\text{فاصله متوسط سیاره از خورشید})^3$$

مسئله ۳۵-۱۱:

دورهٔ تناوب نجومی سیارهٔ مریخ ٦۸۷ روز است. فاصلهٔ متوسط مریخ از خورشید را به دست آورید.

راه حل: دورهٔ تناوب را بر حسب سال می‌نویسیم و در فرمول بالا قرار می‌دهیم

$$(\text{فاصله متوسط مریخ تا خورشید})^{۳} = \left(\frac{٦۸۷}{۳٦۵٫۲۵}\right)^{۲}$$

جواب: فاصلهٔ متوسط، ۱٫۵۲ واحد نجومی یا (با ضرب ۱٫۵۲ در ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر) ۲۲۸ میلیون کیلومتر است.

۳٦-۱۱ خروج از مرکز

خروج از مرکز مدار یک سیاره را به طریق زیر می‌توان به‌دست آورد:

آ. فاصله سیاره را از خورشید در ایام مختلف سال تعیین می‌کنیم.

ب. نمودار فاصلهٔ سیاره از خورشید را در زمان‌های مختلف (بر حسب زاویه‌ای که با یک محور ثابت می‌سازد) رسم می‌کنیم. این منحنی یک بیضی خواهد بود.

پ. خروج از مرکز را با استفاده از فرمول $e = \frac{c}{a}$ محاسبه می‌کنیم که در آن c فاصلهٔ هریک از کانون‌ها از مرکز بیضی و a طول نصف قطر اطول بیضی است.

گوشزد: محاسبهٔ فواصل واقعی (بر خلاف فاصلهٔ متوسط) سیارات از خورشید جز در مورد زمین، کار دشواری است.

۳۷-۱۱ زاویهٔ میل مدار با دایرةالبروج

این کمیت را از طریق رصد بر کرهٔ آسمان می‌توان به‌دست آورد. زاویهٔ میل برابر است با بیشترین زاویه‌ای که سیاره با دایرةالبروج (خواه بالا و خواه زیر آن) می‌سازد.

۳۸-۱۱ دوره تناوب نجومی

دورهٔ تناوب نجومی را می‌توان با استفاده از فرمول‌های بخش ۳۳-۱۱ و دورهٔ تناوب هلالی رصد شده به دست آورد (به بخش ۳۹-۱۱ نگاه کنید).

۱۱-۳۹ دورهٔ تناوب هلالی

دورهٔ تناوب هلالی از مشاهدهٔ مدت زمان میان دو مقارنهٔ متوالی سیاره با خورشید، یعنی دو بار متوالی که سیاره بر خط واصل زمین به خورشید قرار گیرد، به دست می‌آید.

۱۱-۴۰ سرعت مداری

این کمیت از تقسیم پیرامون (محیط) مدار به زمانی که برای پیمودن آن لازم است یعنی دورهٔ تناوب نجومی، به دست می‌آید.

۱۱-۴۱ فاصلهٔ یک سیاره از زمین

یکی از روش‌های تعیین فاصلهٔ یک سیاره از زمین مثلث‌بندی است. در این روش خط وضعیتی مثلاً به طول ۱۰۰۰ کیلومتر بر روی زمین اختیار می‌شود (به شکل (آ) ۵-۷ نگاه کنید). زوایایی که این خط در دو انتها با سیاره می‌سازد اندازه گرفته می‌شود. سپس به کمک فرمول‌های مثلثات مقدماتی، فاصلهٔ سیاره به دست می‌آید.

روش دیگر، اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت یک علامت راداری به سیاره است. فاصلهٔ سیاره با ضرب کردن نصف زمان رفت و برگشت در سرعت نور به دست می‌آید.

مسئله ۴۱-۱۱:

در اوایل سال ۱۹۵۸ علامت راداری به سیارهٔ زهره فرستاده شد. زمان رفت و برگشت این علامت ۵ دقیقه (۳۰۰ ثانیه) بود. فاصلهٔ سیاره را در آن زمان به دست آورید.

جواب: چون سرعت نور، یا سرعت موج رادار ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است پس:

$$300{,}000 \times 150 = 45{,}000{,}000 \text{ کیلومتر}$$

۱۱-۴۲ قطر زاویه‌ای

قطر زاویه‌ای یک سیاره به‌این طریق به دست می‌آید:

آ. با تلسکوپ به کناره‌ای از سیاره قراول می‌رویم.

ب. تلسکوپ را به کناره مقابل دوران می‌دهیم.

زاویه‌ای که تلسکوپ دوران یافته است برابر با قطر زاویه‌ای سیاره است.

۱۱-۴۳ قطر خطی

قطر خطی یک سیاره از ضرب کردن قطر زاویه‌ای (برحسب رادیان) در فاصلهٔ سیاره از زمین به دست می‌آید:

فاصلهٔ سیاره × قطر زاویه‌ای = قطر خطی

قطر زاویه‌ای در این فرمول باید بر حسب واحد رادیان باشد. (یک رادیان زاویهٔ متقابل به قوسی است که طول آن برابر شعاع دایره است. یک رادیان اندکی بیشتر از ۵۷° است). نسبت تبدیل از درجه به رادیان برابر است با $\frac{۳۶۰^\circ}{۲\pi}$. واحد قطر همان واحدی است که برای فاصلهٔ سیاره به کار رفته است.

۱۱-۴۴ حجم

به فرض آن که سیاره کروی شکل باشد، فرمول هندسی حجم کره را می‌توان به کار برد:

$$\text{حجم} = \frac{۴}{۳}\pi \times (\text{شعاع})^{۳}$$

که در آن مقدار π برابر ۱۴ر۳ است.

۱۱-۴۵ جرم

جرم سیاره‌ای که دارای قمری است که بر گرد آن می‌گردد، از قانون سوم کپلر (به بخش ۲۸-۱۱ نگاه کنید)، به صورتی که توسط نیوتن تکمیل شده، به دست می‌آید (به گوشزد بعد از مسئله ۲۸-۱۱ توجه کنید).

صورتی از این قانون تکمیل‌شده، چنین است:

$$P^{۲} = \frac{۴\pi^{۲} a^{۳}}{G\ (M_{۱}+M_{۲})}$$

که در آن:

P دورهٔ تناوب نجومی قمر،

a فاصله از مرکز قمر تا مرکز سیاره،

G ثابت عام گرانش (در دستگاه آحاد متر ـ کیلوگرم ـ ثانیه) برابر است با:

$$G = ۶٫۷ \times ۱۰^{-۱۰}\ \frac{\text{نیوتن} \times (\text{متر})^{۲}}{(\text{کیلوگرم})^{۲}}$$

M_1 و M_2 به ترتیب جرم‌های سیاره و قمر است. جرم قمر (M_2) معمولاً به به‌قدری کوچک‌تر از جرم سیاره (M_1) است که می‌توان آن را از فرمول حذف کرد.

مسئله ۴۵-۱۱:

جرم مریخ را به دست آورید هرگاه فاصلهٔ قمر آن، فوبوس، برابر $9400\ km = 9/4 \times 10^6 m$ باشد و این قمر سیاره را هر هفت ساعت و سی و نه دقیقه، معادل با ۲۷،۵۰۰ ثانیه، یک بار دور بزند.

راه حل: چون متر را واحد فاصله و ثانیه را واحد زمان اختیارکنیم آنگاه جرم مریخ تقریباً برابر:

$$M_1 = \frac{4\pi^2 \times \left(9/4 \times 10^6\right)^3}{6/7 \times 10^{-11} \times 27{,}500^2} = 7 \times 10^{23}\ kg$$

یا فقط ۱۱ درصد جرم زمین خواهد بود.

جرم سیاراتی که قمری طبیعی ندارند (مانند زهره) یا (آ) به کمک ماهواره‌ای که بر گرد آن بگردد تعیین می‌شود و یا (ب) یا از روی پریشیدگی‌ای به‌دست می‌آید که سیاره بر حرکت سیارک یا سفینه‌ای فضایی موجب می‌شود.

۴۶-۱۱ چگالی

چگالی متوسط یک سیاره از تقسیم جرم سیاره بر حجم آن به دست می‌آید. مقدار چگالی را در اغلب اوقات بر حسب چگالی زمین بیان می‌کنند.

۴۷-۱۱ شتاب گرانش

شتاب گرانش در سطح یک سیاره از قانون گرانش عمومی نیوتن به‌دست می‌آید (به بخش ۳۰-۱۱ نگاه کنید) که در آن M جرم سیاره است و $m = 1$ اختیار می‌شود. فرمول شتاب گرانش $g_p = 6/7 \times 10^{-8} \frac{M}{r^2}$ است. در دستگاه واحدهای متر-کیلوگرم - ثانیه این فرمول عبارت خواهد بود از: $g_p = 6/7 \times 10^{-11} \frac{M}{r^2}$، r شعاع سیاره بر حسب واحدهای بالا است.

۴۸-۱۱ سرعت گریز

سرعتی که یک جسم باید کسب کند تا بتواند از میدان گرانشی یک سیاره

بگریزد، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$V = \sqrt{\frac{۲GM}{r}}$$

در دستگاه واحدهای سانتیمتر-گرم-ثانیه، $G = ۶٫۷ \times ۱۰^{-۸}$ و جرم باید بر حسب گرم و فاصلهٔ جسم از مرکز سیاره برحسب سانتیمتر، بیان شود. سرعت گریز بر حسب سانتیمتر بر ثانیه خواهد بود.

۱۱-۴۹ دوره تناوب حرکت وضعی

دورهٔ تناوب حرکت وضعی سیاراتی که نشانه‌هایی مشخص بر سطح خود دارند (مثلاً مریخ) با اندازه‌گیری زمان یک دوران کامل برای یکی از این نشانه‌ها تعیین می‌شود.

در مورد سیاراتی که نشانه‌های مشخص ندارند دورهٔ تناوب حرکت وضعی از روی تفاوت تغییر مکان دوپلری امواج رادار، بین کناره‌ای از سیاره که نزدیک می‌شود و کناره‌ای که دور می‌شود، به‌دست می‌آید (برای دورهٔ تناوب حرکت وضعی عطارد به بخش ۷-۱۲ نگاه کنید).

۱۱-۵۰ زاویهٔ میان استوای سیارات و صفحهٔ مدار آن‌ها

این زاویه معمولاً با مطالعهٔ قوسی که یکی از نشانه‌های سطح سیاره می‌پیماید به‌دست می‌آید.

۱۱-۵۱ دما

از تجزیهٔ طیفی نوری که از سیاره می‌آید استفاده می‌شود تا دمای سطحی آن تعیین گردد. این روش شبیه روشی است که در بخش ۲-۷ شرح داده شد.

* دمای سطح سیارات به کمک قانونی تعیین می‌شود که به قانون استفان موسوم است. این قانون در مورد یک سطح جذب کننده (مانند سطح سیارات) چنین بیان می‌شود. دمایی که یک سطح بر اثر جذب تابش پیدا می‌کند متناسب است با ریشهٔ چهارم میزان اشعهٔ جذب شده. در مورد سیارات

$$T_p = ۳۹۲ \sqrt[۴]{(۱-A)/r^۲}$$

که در آن Tp دمای سطح سیاره، A نسبت بازتاب و r فاصلهٔ متوسط سیاره از خورشید است. *

۱۱-۵۲ نسبت بازتاب

نسبت بازتاب یک جسم به توانایی جسم در بازتاب نور مربوط می‌شود. بعضی اشیاء، مثلاً سطح ابرها، بیشتر نوری را که بر آن‌ها می‌تابد منعکس می‌کنند. برخی دیگر بخش اعظم نور را جذب و مقدار کمی را بازمی‌تابند. سنگ و خاک بازتابنده‌های خوبی نیستند.

بنا به تعریف نسبت بازتاب، نسبت مقدار نور بازتابیده از یک شئ است به نوری که آن شئ دریافت کرده است.

در مورد سیارات نسبت بازتاب عبارت است از:

$$\frac{\text{نور منعکس شده از سیاره}}{\text{نور خورشیدی که بر سیاره تابیده است}}$$

مخرج کسر را می‌توان از روی مقدار معلوم درخشندگی خورشید و فاصلهٔ سیاره از خورشید محاسبه کرد. صورت کسر از روشنی ذاتی سیاره به دست می‌آید.

فصل ۱۲

سیارات زیرین (سفلی)

۱۲-۱ مقدمه

نه سیارهٔ منظومهٔ شمسی را می‌توان به دو گروه متمایز تقسیم کرد: سیارات زمین‌مانند و سیارات مشتری‌مانند. عطارد، زهره، زمین، مریخ و پلوتون سیارات زمین‌مانند و از حیث اندازه شبیه زمین اند. مشتری، زحل، اورانوس و نپتون سیارات مشتری‌مانند و بسیار پرجرم‌تر از سیارات زمین مانند اند.

سیارات را می‌توان بر اساس فاصله‌شان از خورشید نیز دسته‌بندی کرد. عطارد و زهره به سیارات زیرین (یا سفلی) موسوم اند، زیرا از زمین به خورشید نزدیک‌تر اند. سیارات دیگر، از مریخ تا پلوتون سیارات زبرین (یاعلوی) نامیده می‌شوند، زیرا از زمین به خورشید دورتر اند.

قسمت اول: سیارهٔ عطارد (تیر)

۱۲-۲ اطلاعات اساسی

نشانه: ☿

فاصله از خورشید:

حداقل	۴۶،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
متوسط	۵۸،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
ماکزیموم	۷۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز: ۰ر۲۰۵۶

زاویهٔ میل مدار با دایرة‌البروج: $7^\circ\ 0'\ 14.6''$

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی ۸۸ روز

هلالی ۱۱۶ روز
سرعت مداری (میانگین): ۴۸ کیلومتر بر ثانیه
فاصله از زمین:
کمترین ۹۱،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین ۲۰۶،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
قطر زاویه‌ای (در مقارنهٔ داخلی میانگین): ۸۸ر۱۰ ثانیهٔ قوس
قطر: ۴۸۶۰ کیلومتر
حجم: ۰۶ر۰ حجم زمین
جرم: ۰۵۴ر۰ جرم زمین
چگالی: ۹۹ر۰ چگالی زمین
شتاب گرانش در سطح: ۳۷ر۰ شتاب گرانش سطحی زمین
سرعت گریز: ۲ر۴ کیلومتر بر ثانیه
دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۷ر۵۸ روز
زاویهٔ استوای سیاره با سطح مدار آن: 28°
دما:
حداقل $-183^{\circ}C$
حداکثر $427^{\circ}C$
نسبت بازتاب: ۰۶ر۰

گوشزد: تفصیل روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به کار می‌رود در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است. همچنین به «فرهنگ اصطلاحات» در آخر کتاب نگاه کنید.

۳-۱۲ مواقع رصدکردن

عطارد نزدیک‌ترین سیاره به خورشید است. آن را با چشم برهنه تنها زمانی می‌توان در آسمان دید که خورشید کاملاً زیر افق باشد. دورهٔ تناوب هلالی عطارد ۱۱۶ روز است. در نیمی از این مدت عطارد بر خورشید پیشی می‌گیرد و در نیمهٔ دیگر به دنبال آن می‌آید.

گوشزد: مدار واقعی عطارد یک بیضی است. ناظر زمینی این بیضی را تقریباً از پهلو می‌بیند و از این رو به نظر وی تقریباً چون خطی مستقیم می‌آید. بنابراین به‌نظر می‌رسد که عطارد میان مشرق و مغرب خورشید، در امتداد این خط نوسان می‌کند.

وقتی سیاره در مغرب خورشید است، پیش از طلوع خورشید می‌توان آن را دید و هنگامی که در مشرق خورشید جای دارد، پس از غروب آفتاب.

گوشزد: یونانیان باستان گمان می‌کردند که دو سیارهٔ متفاوت را مشاهده می‌کنند. آنان نام مرکوری (عطارد) را بر شیئی نهاده بودند که پس از غروب خورشید دیده می‌شد و آن را که پیش از طلوع خورشید مرئی بود آپولو می‌نامیدند.

بیشترین فاصلهٔ زاویه‌ای عطارد از خورشید 28° است. بیان فنی این مطلب این است: حداکثر دوری عطارد 28° است. (دوری یا بُعد زاویه‌ای است که خورشید و یکی از سیارات به رأس زمین می‌سازند).

مایل بودن این خط موجب می‌شود که مدت رؤیت عطارد باز هم کمتر باشد.

امتداد دوری بر افق عمود نیست بلکه با آن زاویه‌ای می‌سازد. ماه‌های اسفند و فروردین و مرداد و شهریور، که این امتداد از هر وقت دیگر به عمود نزدیک‌تر است، بهترین ماه‌های رصد کردن عطارد است. منجمان رصد عطارد را به ساعات شفق و فلق محدود نمی‌کنند. با حذف کردن نور پراکندهٔ آفتاب از تلسکوپ می‌توان عطارد را در هنگام روز هم رصد کرد، خاصه موقعی که فاصله‌اش از خورشید زیاد است. دقت بیشتر برای رصد هنگامی حاصل می‌شود که سیاره بر اوج آسمان باشد (به جای آن که نزدیک به افق باشد)، زیرا اثر جو در نور آن کمتر است.

۱۲-۴ چه می‌بینیم؟

عطارد، در شرایط مساعد، با چشم برهنه به صورت ستاره‌ای پرنور- پرنورتر از هر ستاره‌ای جز خورشید- به‌نظر می‌آید. بر اثر کوچکی قرص آن و نزدیکی به افق، چشمک زدن آن نیز مشاهده می‌شود.

عطارد با تلسکوپ به شیء سفید رنگی می‌ماند که از مراحلی چند (اهله) از هلال تا بدر می‌گذرد (به شکل ۶-۱۲ نگاه کنید). تعداد زیادی علایم سطحی خاکستری رنگ نیز بر آن دیده می‌شود. عکس‌های بسیار خوبی از سطح عطارد، به وسیلهٔ سفینهٔ فضایی آمریکایی مارینر ۱۰[1] که در مارس ۱۹۷۴ از نزدیکی آن عبور کرد گرفته شد. عکس‌هایی که سفینهٔ یاد شده در فاصله‌ای

1- Mariner 10

کمتر از ۸۰۰ کیلومتر گرفته است نشان می‌دهد که نیمی از سطح سیاره پوشیده از دهانه است حال آن که نیمهٔ دیگر را بیشتر دشت‌های هموار فرا گرفته است.

* بیشتر اطلاعات ما از سطح این سیاره از کنارگذر سفینهٔ مارینر ۱۰ از نزدیکی عطارد به دست آمده است.

بزرگ‌ترین دهانهٔ سطح عطارد، حوضچهٔ کالوریس است که دهانهٔ برخوردی عظیم به قطر ۱۳۰۰ کیلومتر است. لبهٔ دهانه از کوه‌هایی به ارتفاع دو کیلومتر تشکیل شده است. در سطح سیاره گسل‌هایی به طول چندصد کیلومتر مشاهده شده است که معلول انجماد و انقباض قسمت‌های داخلی سیاره در گذشتهٔ دور است. *

۱۲-۵ عبور

گه گاه سیاره از میان زمین و خورشید می‌گذرد. چنین گذر کردنی را عبور سیاره گویند نه کسوف، زیرا سیاره تنها بخش کوچکی از سطح خورشید را می‌پوشاند. عبور سیاره را تنها با تلسکوپ می‌توان مشاهده کرد. رصد کننده دایرهٔ سیاه کوچکی را می‌بیند به قطر کمتر از یک‌صدم قطر خورشید که به آرامی قرص خورشید را می‌پیماید.

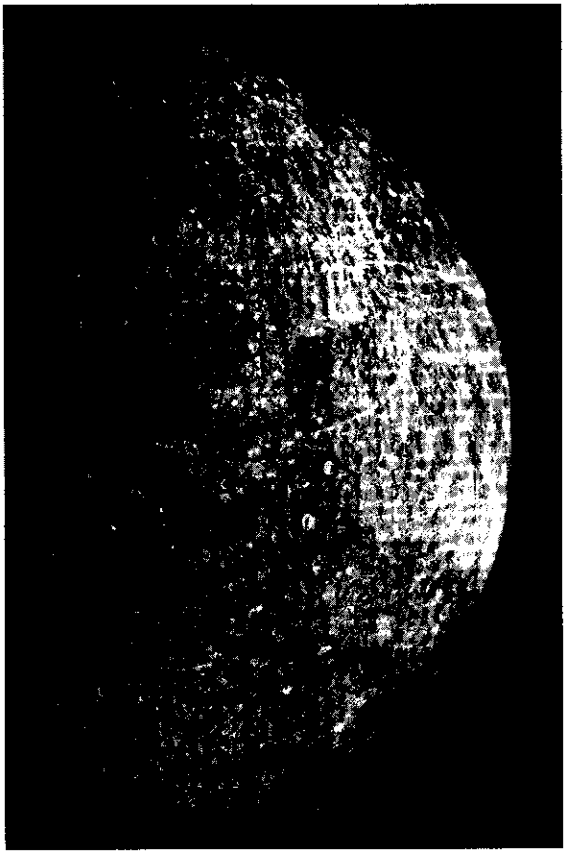
عبور عطارد فقط یا در اردیبهشت ماه (ماه مه) و یا آبان‌ماه (ماه نوامبر) روی می‌دهد. [عبورهای بعدی عطارد در آبان ماه ۱۳۸۵ (۸ نوامبر ۲۰۰۶)و اردیبهشت ۱۳۹۵ (۹ مه ۲۰۱۶) خواهد بود]. ندرت وقوع عبور عطارد به این علت است که زاویهٔ میل مدار آن با مدار زمین (7°) سبب می‌شود که سیاره معمولاً یا از شمال و یا از جنوب خورشید بگذرد.

اندازه گیری‌های دقیق عبورهای عطارد نه فقط برای تعیین دقیق مدار عطارد بلکه برای محاسبهٔ دورهٔ تناوب حرکت وضعی زمین نیز به کار می آید - که در مورد اخیر حاکی از آن است که دوران زمین کند می‌شود. (تا ۱۰۰،۰۰۰ سال دیگر دورهٔ تناوب حرکت وضعی زمین یک ثانیه افزایش می‌یابد).

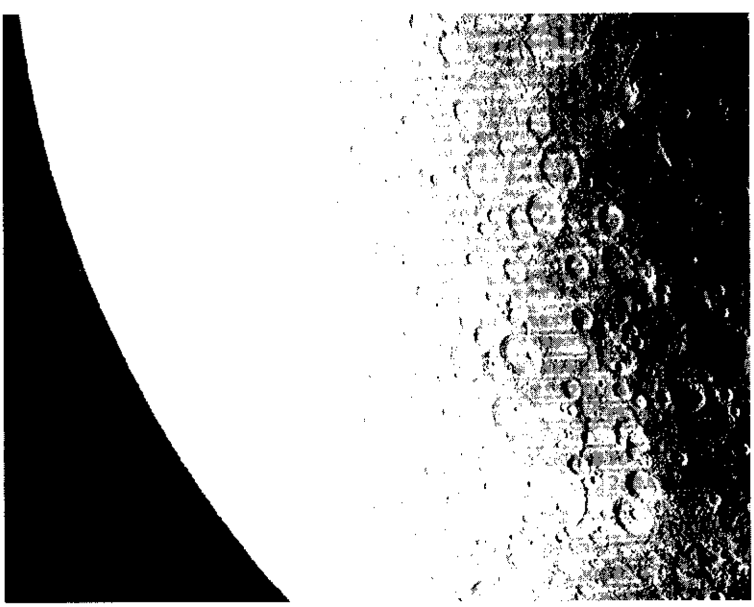
۱۲-۶ اهله

عطارد نیز مانند ماه چهره‌های گوناگون، از بدر تا محاق، را اختیار می‌کند. وقتی که در آن سوی خورشید است، بخش اعظم یا تمام قرص روشن آن را با تلسکوپ می‌توان دید؛ ولی هنگامی که در همان سویی است که زمین قرار دارد تنها هلال نازکی از آن مرئی است (شکل ۶-۱۲).

روشنی سیاره با تغییر چهرهٔ آن تغییر می‌کند؛ وقتی که در «بدر» است از

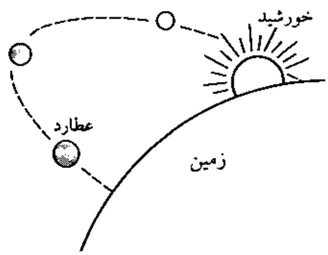


سطح عطارد نیز چون سطح ماه پر از دهانه است، اگرچه از نظر توزیع دهانه‌ها ماه و عطارد تفاوت بسیار دارند. این دوعکس توسط سفینهٔ مارینر ۱۰ گرفته شده است که در ماه مارس ۱۹۷۴ از چند صد کیلومتری سیاره عبور کرد.



زمین دور است و بُعد فاصلهٔ آن اثر «دربدر بودن» را خنثی می‌کند.

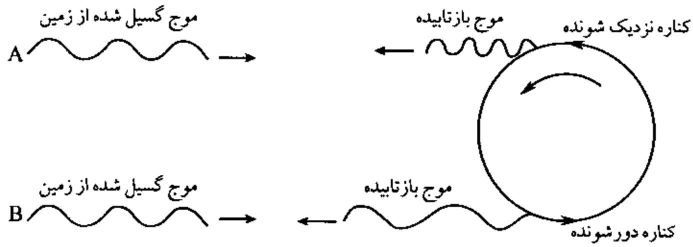
شکل ۶-۱۲ عطارد، به خورشید نزدیک است و فقط مدت کوتاهی قبل یا بعد از طلوع و یا غروب خورشید مرئی است. وقتی با زمین در یک سوی خورشید قرار دارد، به صورت هلال دیده می‌شود و وقتی در سوی دیگر است در حالت «بدر».



۷-۱۲ دورهٔ تناوب حرکت وضعی

منجمان، هم از آن رو که اندازهٔ عطارد کوچک است و هم به خاطر کیفیت نامساعد علایم سطحی سیاره، در تعیین دورهٔ تناوب حرکت وضعی عطارد با دشواری روبرو بوده‌اند. بهترین برآوردی که تا سال ۱۹۶۵ وجود داشت، رقم ۸۸ روز برای این دورهٔ تناوب بود؛ این برآورد به کمک آزمایش‌هایی غیر قطعی در اواخر قرن نوزدهم به دست آمده بود. این دورهٔ تناوب برابر است با دورهٔ تناوب نجومی حرکت انتقالی سیاره به دور خورشید (که آن نیز ۸۸روز است).

روش جدید اندازه‌گیری حرکت وضعی عطارد، روشی است که در آن از نجوم راداری و تغییر مکان دوپلری استفاده می‌شود. امواج راداری که از آن کنارهٔ سیاره باز می‌تابد که به ناظر زمینی نزدیک می‌شود به جانب طول موج‌های کوتاه‌تر جابه‌جا می‌شود. همین طور امواج راداری که از کنارهٔ دور شوندهٔ سیاره منعکس می‌شود به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر انتقال می‌یابد. مقدار این جابه‌جایی به سرعت نزدیک (یا دور) شدن و در نتیجه به سرعت دوران سیاره بستگی دارد. خطوط اصلی این مطلب در شکل (آ) ۷-۱۲ آمده است.



شکل (آ)۷-۱۲ موج A از کنارهٔ نزدیک شونده منعکس شده است. طول موج آن به سمت امواج کوتاه‌تر تغییر مکان می‌یابد. همین طور موج B به سمت طول موج‌های بلندتر تغییر مکان پیدا می‌کند. از روی این تغییرات می‌توان دورهٔ تناوب حرکت وضعی سیاره را حساب کرد.

در سال ۱۹۶۵ از رادیو تلسکوپ آره‌سی‌بو[1] به عنوان تلسکوپی راداری استفاده شد و مقدار ۷ر۵۸ روز برای دورهٔ تناوب دوران عطارد در جهت مستقیم به دست آمد. «جهت مستقیم» به معنی آن است که این دوران، چون از بالای قطب شمال عطارد نظر شود، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت خواهد بود.

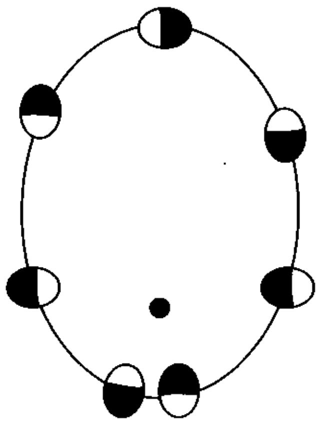
1- Arecibo

دورهٔ تناوب نجومی حرکت انتقالی (۸۸ روز) درست نسبت ۳ به ۲ با دورهٔ تناوب حرکت وضعی (۷ر۵۸ روز) دارد. این نسبت ساده احتمالاً معلول تصادف نیست و توضیح قابل قبول آن به این شرح است:

آ. عطارد کرهٔ کاملی نیست، یکی از اقطار آن بلندتر از قطرهای دیگر است.

ب. جاذبهٔ گرانشی خورشید موجب می‌شود که این قطر کشیده در حضیض خورشیدی سیاره، در هر ۵ر۱، ۳، ۵ر۴، ٦ و... دوران رو به خورشید قرار گیرد. به شکل (ب) ۷-۱۲ نگاه کنید.

شکل (ب) ۷-۱۲ حرکت انتقالی (به دور خورشید) و حرکت وضعی عطارد. توجه کنید که برآمدگی مربوط به قطر بزرگ‌تر عطارد، پس از ۵ر۱ دوران به سمت خورشید است.



۸-۱۲ دما

منجمان از روی شدت امواج رادیویی ۴ر۳ میلیمتری و ۱۹ میلیمتری عطارد دمای متوسط آن را به هنگام بدر برابر $650\ ^{\circ}K$ تعیین کرده‌اند. باید انتظار داشت که دمای سطح عطارد زیاد باشد زیرا به خورشید نزدیک است. عطارد، به ازای هر واحد سطح، هفت برابر زمین انرژی دریافت می‌کند.

به هنگام شب دمای پوستهٔ سطحی عطارد به $100\ ^{\circ}K$ نزول می‌کند.

از مطالب شایان توجه، اندازه‌گیری‌های رادیویی مربوط به لایه‌های زیر پوستهٔ سطحی سیاره است. حتی در یک متری زیر سطح، دما تقریباً مقدار ثابتی در حدود $350\ ^{\circ}K$ دارد.

۹-۱۲ نسبت بازتاب

نسبت بازتاب عطارد ٦۰ر۰ است، یعنی عطارد ٦ درصد نوری را که از خورشید دریافت می‌کند به فضا منعکس می‌کند. ۹۴ درصد این نور جذب سیاره می‌شود.

۱۰-۱۲ شتاب گرانش در سطح و سرعت گریز

شتاب گرانش سطحی عطارد در حدود ۳۷ر۰ شتاب گرانش سطحی زمین است، یعنی نیروی گرانش در آن در حدود $\frac{1}{3}$ نیروی گرانش در سطح زمین است. نیروسنج وزن یک شیء ۹ کیلوگرمی را ۳ کیلوگرم وزن، نشان خواهد داد.

این گرانش سطحی، فقدان یک پوشش گازی (جو) را بر گرد عطارد، توضیح می‌دهد. چون شتاب گرانش سطحی کم است، سرعت گریز از سطح سیاره فقط ۲ر۴ کیلومتر بر ثانیه است و هر جسمی که با سرعت ۲ر۴ کیلومتر

بر ثانیه سطح عطارد را ترک کند، برای همیشه از آن دور خواهد شد. (سرعت گریز زمین برابر ۱۱ کیلومتر در ثانیه است).

گازها دارای خاصیت میل به انبساط اند. همهٔ گازها در همه جهات منبسط می‌شوند و حجم بزرگ‌تری را اشغال می‌کنند. شتاب گرانش سطحی زمین به اندازهٔ کافی قوی است که با گرایش جو به انبساط مقابله کند. اما در سطح عطارد نیروی گرانش به قدری ضعیف است که نمی‌تواند از فرار گازها جلوگیری کند. ملکول‌های گاز معمولاً سرعت‌های بیش از ۲ر۴ کیلومتر بر ثانیه دارند و از این رو می‌توانند از این سیاره بگریزند. اگر هم عطارد در گذشته دور دارای جوی بود، این جو دیرزمانی پیش گریخته است و دمای شدید سطح سیاره هم عملاً به این کار کمک کرده است. با وجود این، ملاحظات نظری و آزمایشی حاکی از آن اند که جو بسیار رقیقی در عطارد وجود دارد. پژوهش‌های نظری بر دمای بیش از حد انتظار سیاره در هنگام تربیع دلالت دارد؛ از جنبهٔ آزمایشی هم با خطوط جذبی ضعیف گاز کربنیک در مطالعات طیفی سیاره و با یافته‌های مارینر ۱۰ مبنی بر وجود میدان مغناطیسی در عطارد، سر و کار داریم. کنش متقابل این میدان با باد خورشیدی جو بسیار رقیقی را به وجود می‌آورد. برآورد فشار سطحی این جو در حدود 10^{-12} اتمسفر، یعنی یک میلیون میلیونیم فشار جو زمین در سطح دریا است.

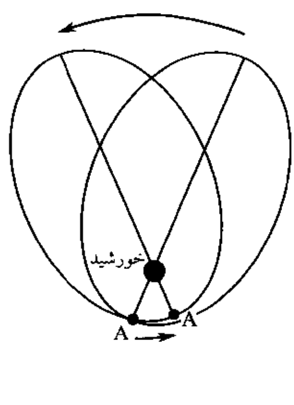
۱۱-۱۲ حرکت حضیض خورشیدی عطارد

قطر اطول بیضی مداری عطارد، به‌کندی در فضا دوران می‌کند (حرکت تقدیمی). در هر صد سال امتداد این قطر و به همراه آن حضیض خورشیدی عطارد، ۵۷۴ ثانیهٔ قوس تغییر می‌کند.

این حرکت، چون از فراز منظومهٔ شمسی نظر شود در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت است و معلول اثر گرانشی خورشید و سیارات دیگر بر عطارد است.

محاسباتی که بر فیزیک کلاسیک (نیوتنی) مبتنی است، ۵۳۲ ثانیهٔ قوس در قرن از آن را توجیه می‌کند. محاسباتی که در آن از نظریهٔ نسبیت عام اینشتاین استفاده می‌شود نشان می‌دهد که جرم خورشید موجب دورانی اضافی برابر با ۴۲ ثانیهٔ قوس در قرن می‌شود. دوران (حرکت تقدیمی) صحیح محور مدار، به طوری که در بالا گفته شد، ۵۷۴ ثانیه قوس در قرن است. به شکل ۱۱-۱۲ نگاه کنید.

شکل ۱۱-۱۲ قطر اطول مدار عطارد در فضا حرکت می‌کند و همراه با آن نیز حضیض خورشیدی A جابجا می‌شود. سرعت این حرکت (تقدیمی) ۵۷۴ ثانیهٔ قوس در قرن است.



قسمت دوم: سیارهٔ زهره (ناهید)

۱۲-۱۲ اطلاعات اساسی

نشانه: ♀

فاصله تا خورشید:

کمترین	۱۰۶،۵۰۰،۰۰۰ کیلومتر
میانگین	۱۰۷،۶۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۱۰۸،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۰٫۰۰۷

زاویهٔ میل مدار با دایرةالبروج: ۳٫۴۰

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی	۲۲۵ روز
هلالی	۵۸۴ روز

سرعت مداری: ۳۵ کیلومتر در ساعت

فاصله از زمین:

کمترین	۴۲،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۲۶۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

قطر زاویه‌ای:

کمترین	۱۱ ثانیه
بیشترین	۶۱ ثانیه

قطر: ۱۲،۲۵۰ کیلومتر

حجم: ۰٫۹۰۲ حجم زمین

جرم: ۰٫۸۲ جرم زمین

چگالی: ۰٫۹ چگالی زمین

شتاب گرانش سطحی: ۰٫۸۷ شتاب گرانش سطحی زمین

سرعت گریز: ۱۰٫۵ کیلومتر در ثانیه

دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۲۴۳ روز (در جهت معکوس)

زاویه میل استوای سیاره با مدار آن: 3°

دما:

در رأس ابرها(تقریباً) $-15^{\circ}C$

در پایین ابرها(تقریباً) $240\,^{\circ}C$

در سطح سیاره (تقریباً) $480\,^{\circ}C$

نسبت بازتاب: ۸ر ۰

گوشزد: جزئیات روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به‌کار می‌رود در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۱۳-۱۲ مقدمه

زهره از بسیاری جهات شایان توجه است:

آ. به جز خورشید و ماه و ستاره‌های دنباله‌دار بسیار نادر، پرنورترین جرم آسمانی است. وقتی که در حد اعلای روشنی است، به هنگام روز دیده می‌شود و در تاریکی شب از اشیاء سایه می‌اندازد.

ب. از هر سیارهٔ دیگری به زمین نزدیک‌تر می‌شود و به ۴۲ میلیون کیلومتری آن می‌رسد.

پ. مدار آن از هر سیارهٔ دیگری به دایره نزدیک‌تر است؛ خروج از مرکز بیضی آن فقط ۰۰۷ر ۰ است و با این حال، چنان‌که خواهیم دید، اطلاعات ما از آن بسیار کم است، زیرا هنوز هم سیارهٔ «اسرارآمیز» به شمار می‌رود.

۱۴-۱۲ مواقع رصد کردن زهره

دورهٔ هلالی زهره ۵۸۴ روز است. در نیمی از این مدت (اندکی کمتر از ده ماه) زهره پیش از خورشید طلوع می‌کند و در نیم دیگر بعد از آن غروب می‌کند.

گوشزدها: ۱- در این مورد هم یونانیان باستان تصور می‌کردند که دو شیء متفاوت را مشاهده می‌کنند. «ستارهٔ» بامدادی را لوسیفر[1] و «ستارهٔ» شامگاهی را هسپروس[2] می‌نامیدند.[†] نام ونوس (زهره) را به افتخار الهه عشق و زیبایی بر این سیاره نهاده بودند.

۲- مدار زهره دایره است (خروج از مرکز ۰۰۷ر ۰). تصویر مدار آن بر کره آسمان بیضی بسیار کشیده‌ای نزدیک به خط مستقیم است. چنین به نظر می‌رسد که زهره بر این خط به شرق و غرب خورشید نوسان می‌کند.

1- Lucifer 2- Hesperus

† در کتب نجوم قدیم آن‌ها را کوکب‌های مسائی و صباحی می‌خواندند.م

بزرگ‌ترین فاصلهٔ زاویه‌ای میان زهره و خورشید در حدود 46° است و از این رو زهره حداکثر سه ساعت بعد (یا قبل) از خورشید غروب (یا طلوع) می‌کند.

با درنظرگرفتن زاویه‌ای که مسیر ظاهری سیاره می‌سازد، بهترین موقع رصد بامدادی این سیاره در نیمکرهٔ شمالی به هنگام پائیز است.

زهره را هنگامی که چندان نزدیک به خورشیدنیست، به هنگام روز هم می‌توان دید.

۱۲-۱۵ چه می‌بینیم؟

زهره به چشم برهنه چون جرم ستاره‌مانند پرنوری است؛ با نور سفیدرنگ ثابتی می‌درخشد. در پرنورترین حالت قدر ظاهری آن ۴ر۴- و در نتیجه دوازده بار پرنورتر از شعرای یمانی است.

تلسکوپ این واقعیت را آشکار می‌سازد که زهره، مانند عطارد و ماه، دوری کامل از اهله را طی می‌کند و در این دور، تغییرات عمده‌ای در قطر ظاهری آن مشهود می‌افتد. به شکل ۱۶-۱۲ نگاه کنید.

به علاوه تلسکوپ زهره را به صورت شیئی درخشان، بدون علایمی ثابت بر آن، نشان می‌دهد.

سفینهٔ مارینر ۲، که در اوت ۱۹۶۲ پرتاب شد، در دسامبر ۱۹۶۲ از ۳۵،۰۰۰ کیلومتری زهره گذشت. مشاهدات این سفینه نشان داد که زهره را ابرهای سفید رنگ مایل به زردی، کاملاً پوشانده است و شکافی در این ابرها نیست که از راه آن بتوان نظری به سطح جامد این سیاره افکند.

سفینهٔ مارینر ۱۰ در فوریه ۱۹۷۴ از ارتفاعی کمتر از ۶۵۰۰ کیلومتری، زهره را مورد پژوهش قرار داد و معلوم شد که این ابرها حرکتی منطقه‌ای دارند و با سرعتی بیش از ۲۴۰ کیلومتر در ساعت سیاره را دور می‌زنند و در مناطقی از زهره که رو به خورشید است برهم‌کنشی میان جریان‌های بزرگ مقیاس همرفتی با این حرکت منطقه‌ای وجود دارد.

در ۲۲ اکتبر ۱۹۷۵ وسیله‌ای از سفینهٔ بدون سرنشین ونرا ۹[1]، متعلق به اتحاد شوروی سابق، بر زهره فرود آمد و علی‌رغم شرایط فوق‌العاده سخت دما و فشار توانست به مدت ۵۳ دقیقه عکس‌هایی از چشم‌انداز این سیاره بگیرد و اطلاعات گسترده‌ای از سطح زهره بفرستد. سه روز بعد وسیلهٔ مشابهی از سفینه ونرا ۱۰ در ۲،۲۰۰ کیلومتری محل فرود وسیلهٔ ونرا ۹ به زهره نشست و

1- Venera 9



دوران ابرهای فوقانی زهره در این سه عکس به خوبی دیده می‌شود(به محلی که پیکان مشخص می‌کند توجه کنید). این عکس‌ها در یک فاصلهٔ زمانی هفت ساعته به وسیلهٔ مارینر ۱۰ گرفته شده است. از آنجا که حرکت وضعی سیاره بسیار کندتر است، این حرکات جوی، بادهایی بسیار تند در منطقه‌ای وسیع شمرده می‌شود.

یافته‌های خود را به مدت ٦۵ دقیقه ارسال کرد. این عکس‌ها، نخستین عکس‌هایی بود که تا آن زمان از سطح سیاره‌ای دیگر گرفته شده بود.

* در سال ۱۹۷۸ دو مدارگرد آمریکایی پایونیر ۱۲ و ۱۳، پرتاب شد که به مدت ۲ سال ۹۰ درصد سطح سیاره را، از مدار، مساحی کردند. در همین سال ونراهای ۱۱ و ۱۲ نیز بر سطح زهره فرود آمدند و عکس‌هایی از سطح آن ارسال کردند. در سال ۱۹۸۱ ونراهای ۱۳ و ۱۴ نتایج اولیهٔ آنالیز شیمیایی خاک زهره و نخستین عکس‌های رنگی سطح زهره را به دست دادند.

ونراهای ۱۵ و ۱٦ در ۱۹۸۳ بر گرد زهره به گردش درآمدند و با استفاده از روش‌های جدید نقشه‌برداری راداری، تصویرهای با جزئیات بیشتر را در اختیار منجمان قرار دادند. وگا ۱ و وگا ۲ سفینه‌هایی بودند که هم برای عکس‌برداری از زهره و هم به قصد بررسی دنباله‌دار هالی به فضا پرتاب شدند (دسامبر ۱۹۸۴).

سفینه‌های ماژلان و گالیله در ۱۹۸۹ راهی زهره شدند. ماژلان با قدرت تفکیک یک‌صد متر تفصیلی‌ترین نقشه‌های راداری زهره را در اختیار ما گذاشته است. این سفینه سرتاسر سطح زهره را مساحی کرده است و اطلاعات با ارزشی به دست داده که در قسمت بعد خواهد آمد. گالیله وسیله کنارگذری بود که عکس‌برداری از زهره یکی از مأموریت‌های آن به شمار می آمد.*

مطالعات مقدماتی این داده‌ها، مطالب زیر را آشکار ساخت.

آ. مقدار فوق‌العاده زیاد فشار جو که ۹۰ تا ۹۲ برابر فشار جو در سطح زمین است.

ب. ونرا ۹ دمای سطحی زهره را $485\ ^\circ C$ و ونرا ۱۰ آن را برابر با $410\ ^\circ C$ گزارش کردند.

پ. سرعت بادهای سطحی، کم و در نقاط فرود وسیله‌ها بین ۳ تا ده کیلومتر در ساعت بود.

ث. معلوم شد که مقدار نور خورشیدی که از ابرها می‌گذرد بسی بیش از آن است که در ابتدا انتظار می‌رفت. در عکس‌های گرفته شده سایهٔ اشیاء در سطح سیاره، واضح و متمایز بودند.

ج. قطعه سنگ‌های پراکنده‌ای (به قطرهای ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر) در سراسر چشم‌انداز وجود داشت، در حالی که پیش‌تر گمان می‌رفت که سطح سیاره پوشیده از بیابان‌های شن باشد. قطعه سنگ‌هایی که در محل فرود ونرا ۹ وجود داشت هم شامل نمونه‌های گرد و هم قطعات تیز گوشه‌دار می‌شدند، ولی در محل فرود ونرا ۱۰ قطعه سنگ‌ها تخت و به صورت «نان» بودند.

* چ: قطر هیچ یک از دهانه‌های زهره کمتر از ۶٫۵ کیلومتر نیست. زیرا جو غلیظ زهره هر جسم ورودی راکه کوچک‌تر از اندازهٔ معینی باشد، متوقف می‌کند.

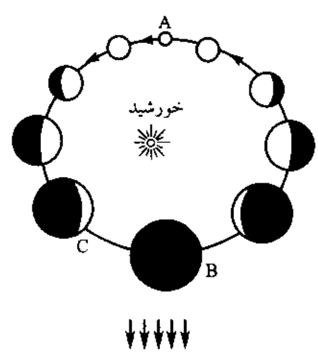
ح: فعالیت‌های آتش‌فشانی در سطح زهره، گسترده بوده است و هنوز هم ممکن است باشد. برخی از وجوه آتش‌فشانی این سیاره، منحصراً مختص زهره است.

خ: شکستگی‌ها و گسل‌های گسترده‌ای در پوستهٔ سیاره به چشم می‌خورد که معلول حرکات مواد مذاب و جابه‌جایی‌های جبه‌ای است. سطح سیاره جوان است زیرا فرسایش اندکی در عوارض آن به چشم می‌خورد. *

۱۶-۱۲ اهلهٔ زهره و قطر ظاهری آن

چون سیاره به خط واصل زمین به خورشید نزدیک شود، صورتی هلالی شکل پیدا می‌کند که با نزدیک‌تر شدن باریک‌تر می‌گردد- بر طولش افزوده و از ضخامتش کاسته می‌شود. درست پیش از آن که زهره (مانند ماه نو) کاملاً ناپدید شود، هلال آن شش مرتبه بزرگ‌تر از قطرش در حالت بدر است. هنگامی که سیاره مستقیماً میان خورشید و زمین قرار می‌گیرد، گفته می‌شود که در مقارنهٔ داخلی (سفلی) است. زهره زمانی در بدر است که نسبت به زمین در سوی دیگر خورشید قرار دارد. این نقطه را در مدار یک سیارهٔ زیرین، مقارنهٔ خارجی (علیا) خوانند. به شکل ۱۶-۱۲ نگاه کنید.

شکل ۱۶-۱۲ اهلهٔ زهره. زهره هنگامی که در مقارنهٔ خارجی است به قرص نورانی مستدیری (بدر) می‌ماند (نقطهٔ A در شکل). هر چه به نقطهٔ B (مقارنهٔ داخلی) نزدیک‌تر می‌شود، از دیدگاه راصد زمینی، سطح هرچه کمتری از آن روشن است. اما چون بر قطر ظاهریش افزوده می‌شود، ۳۶ روز پیش (نقطهٔ C) و پس از مقارنهٔ داخلی در پرنورترین وضعیت خود قرار دارد.



۱۷-۱۲ روشنی

روشنی قابل توجه زهره معلول چند عامل مساعد است:

آ. نزدیکی آن به خورشید

ب. نزدیکی آن به ناظر زمینی

پ. مقدار بزرگ نسبت بازتاب. زهره نزدیک به ۸۰ درصد نوری را که از خورشید دریافت میکند، به فضا باز می‌تابد.

زهره به هنگام بدر در حداکثر روشنی خود نیست، زیرا در آن موقع در بیشترین فاصلهٔ خود از زمین قرار دارد. پر نورترین وضع درست پیش از عبور از مقارنهٔ داخلی و بعد از آن است (به بیان دقیق‌تر، ۳۶ روز قبل و ۳۶ روز بعد از گذشتن از خط واصل زمین و خورشید). در این حالت به اندازهٔ کافی به زمین نزدیک است که بزرگ به نظر آید و هلال آن به حد کافی عریض است که سطح منعکس کننده بزرگی را تشکیل دهد.

۱۲-۱۸ عبور

در موارد نادر، زهره مستقیماً از مقابل خورشید می‌گذرد. چنین عبوری را می‌توان با شیشه‌ای دودزده، بدون کمک تلسکوپ مشاهده کرد. تمام قرص خورشید گرفته نمی‌شود زیرا که زهره فقط سطح کوچکی از آن را می‌پوشاند. اگر سیاره از مرکز خورشید بگذرد، عبور ممکن است تا هشت ساعت طول بکشد.

چنین عبوری نخستین بار در ۱۶۳۹ با دقت تمام رصد شد. چهار عبور بعدی به دقت مطالعه شدند. آخرین عبور در ۲۰۰۴ بود. عبورهای آتی باید در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۱۱۷ روی دهند.†

به علت زاویهٔ میلی (°۳) که صفحهٔ مدار زهره با مدار زمین می‌سازد، عبور از مقابل خورشید در هر مقارنهٔ داخلی روی نمی‌دهد. در نتیجه، زهره گاه در یک سو و گاه در سوی دیگر مدار زمین است، یعنی نیمی از وقت اندکی بالای دایرةالبروج است و در نیم دیگر اندکی زیر آن. در مقارنهٔ داخلی، وقتی که زهره بالا یا زیر دایرةالبروج است، عبور واقع نخواهد شد. تنها وقتی که (آ) زهره درست بر دایرةالبروج واقع است و (ب) سیاره در مقارنهٔ داخلی است، عبور امکان‌پذیر می‌گردد. این دو واقعه به طور متوسط هر ۵۰ سال یک بار همزمان با یکدیگر روی می‌دهد.

دو نقطهٔ تقاطع مدار یک سیاره و صفحه‌ای که زمین در آن حرکت می‌کند (دایرةالبروج) نقاط گره یاعقدتین نامیده می‌شوند. یکی از این دو «گره صعود» یاعقدهٔ رأس و دیگری «گره نزول» یاعقدهٔ ذنب نامیده شده است. خطی که این دو را به هم وصل می‌کند خط گره‌ها نامیده می‌شود.

شرایط وقوع عبور زهره را می‌توان به صورت زیر نیز بیان کرد: عبور زمانی اتفاق می‌افتد که خط واصل زمین و خورشید بر خط گره‌ها منطبق شود.

۱۲-۱۹ دوره تناوب حرکت وضعی

چون هیچ نشانهٔ ثابتی بر ابرهایی که زهره را در میان گرفته‌اند وجود ندارد، مدت‌های مدید تعیین دورهٔ تناوب دوران ابرها و یا دورهٔ تناوب حرکت وضعی خود سیاره، میسر نبود.

پاسخ قطعی با استفاده از تغییر مکان‌های دوپلری در طول موج‌های رادار، یعنی به همان روشی که در مورد عطارد به کار گرفته شد (به بخش ۷-۱۲ نگاه کنید) به دست آمد. زهره در جهت عکس (در جهت حرکت عقربه‌های

---

† عبور سال ۲۰۱۲ در ایران پس از طلوع خورشید قابل رصد خواهد بود.م.

ساعت) هر ۲۴۳ روز یک بار دوران می‌کند. محور دوران آن با خط قائم بر صفحهٔ مدار زاویه‌ای چنددرجه می‌سازد.

نکتهٔ شایان توجه، مقادیر ۵۸۴ روز (دورهٔ هلالی) و ۲۴۳ روز (دورهٔ تناوب حرکت وضعی) است که در نتیجه آن زهره همیشه به هنگام مقارنهٔ داخلی وجه واحدی از خود را به زمین می‌نماید.

۲۰-۱۲ سطح سیاره

پوشش ابر دائمی، دیدن هر قسمتی از سطح زهره را تا اواخر سال ۱۹۷۵ غیرممکن ساخته بود. با وجود این تکنیک‌هایی برای کشیدن نقشهٔ سطح، اندازه‌گیری دما و تعیین فشار جو، بدون دیدن سیاره وجود داشت.

آ. نقشه. امواج رادیویی گسیل شده از زمین، به سهولت ازابرهای زهره می‌گذرند و به وسیلهٔ سطح جامد سیاره منعکس می‌شوند و به زمین بازمی‌گردند. امواجی که از بلندی‌ها منعکس می‌شوند زودتر از آنچه از پستی‌ها بازمی‌تابند به زمین می‌رسد و به‌این ترتیب می‌توان نقشهٔ توپوگرافی سطح سیاره را رسم کرد. نقشهٔ کامل نشان داد که زهره نیز مانند عطارد سطح نسبتاً پست و بلندی دارد.

این سیاره دارای چندین کوه بسیار مرتفع و نیز تعداد زیادی فرورفتگی در نقاط مختلف سطح است.

ب. دما و فشار در سطح. مشاهداتی که با سفینه‌های ونرا ۷ و ونرا ۸ در ۱۹۷۲ به هنگام فرود آمدن بر سطح سیاره انجام شد حاکی از دمایی نزدیک به $485\ ^{\circ}C$، با تفاوت اندکی بین بخش روشن وبخش تاریک سیاره، بود. فشار در سطح سیاره برابر با ۹۰ اتمسفر است. مقدار زیاد دمای سطحی به احتمال زیاد معلول اثر گلخانه است.

گوشزد: اثر گلخانه را، که بهتر از هرجا در گلخانه‌ها محسوس است، بر روی زمین نیز می‌توان مشاهده کرد. سقف شیشه‌ای به صورت دامی برای انرژی درمی‌آید، زیرا نسبت به نور خورشید که طول موج‌هایش بین ۴۰۰۰ و ۷۰۰۰ آنگستروم است کاملاً شفاف است و آن را از خود عبور می‌دهد. ولی چون نسبت به «حرارت تاریکی» که طول موج آن در حدود ۱۰۰۰۰۰ آنگستروم است، کدر است. به این اشعه که از خاک‌های گرم داخل گلخانه ساطع می‌شود اجازهٔ خروج نمی‌دهد. حاصل آن‌که انرژی به صورت گرما در گلخانه متمرکز می‌شود. این اثر را به وضوح تمام با داخل شدن به اتومبیلی که در گرمای تابستان با پنجره‌های بسته در گوشه‌ای متوقف

است می‌توان احساس کرد.

در مورد زهره اشعهٔ ورودی خورشید می‌تواند از ابرها و جو سیاره به سطح آن نفوذ کند؛ تابش فروسرخ خروجی به وسیلهٔ گاز کربنیک موجود در جو جذب می‌شود. گاز کربنیک (CO_2) نسبت به تابش فروسرخ کاملاً کدر است.

دما و فشاری که در سطح سیاره از این راه به دست می‌آید، به خوبی با اطلاعات حاصل آمده از سفینه‌های ونرا ۹ و ۱۰ (به بخش ۱۵-۱۲ نگاه کنید) منطبق است.

۲۱-۱۲ ابرها و جو زهره

قرائن زیر حاکی از آن اند که سیمای مرئی زهره، متشکل از لایه‌ای از ابرهای چگال است:

آ. روشنی زهره. ابرها منعکس کننده‌های خوبی اند و سنگ‌ها منعکس‌کننده‌های بدی.

ب. تاکنون از روی زمین، از هیچ نشانهٔ سطحی ثابتی بر زهره عکس‌برداری نشده است. عکس‌های معمولی قرص مایل به زرد یکنواختی را نشان می‌دهند.

پ. اطلاعات به دست آمده از سفینه‌هایی که از نزدیکی سیاره گذشته‌اند.

ت. مطالعهٔ تغییرات روشنی ستارهٔ قلب‌الاسد، هنگامی که زهره در سال ۱۹۵۹ از مقابل آن عبور کرد.

تا آنجا که می‌دانیم، ارتفاع قاعدهٔ ابرها ۳۰ کیلومتر و ارتفاع رأس آن‌ها در حدود ۷۰ کیلومتر از سطح سیاره است.

چون آب در زهره وجود ندارد و یا مقدار آن فوق‌العاده کم است، قطراتی که ابرها را به وجود می‌آورد، آب نیست. پیشنهادهایی که در مورد ترکیب این ابرها شده است، از غبار تا اسید سولفوریک را شامل می‌شود. (فرضیهٔ اسید سولفوریک بیشتر خواص ابرهای زهره را به طرز موفقیت‌آمیزی تبیین می‌کند).

نتایج دیگری که از پژوهش در پوشش زهره حاصل آمده، عبارت است از:

آ. جو تحتانی (از سطح تا قاعدهٔ ابرها در ۳۰ کیلومتری) بسیار خشک و سوزان است. در این ناحیه جریان‌های جوی شدید در امتداد قائم (همرفتی) وجوددارد.

ب. در جو تحتانی سرعت بادهای افقی بسیار کم است؛ از ۳ تا ۱۰ کیلومتر در ساعت رقم قابل قبولی برای این سرعت‌ها به شمار می‌رود.

پ. در جو فوقانی جریان‌های بسیار شدید بادهای افقی وجود دارد. رقم ۲۴۰ کیلومتر در ساعت برای این بادها ثبت شده است.

ت. در رأس لایهٔ ابر، دما نزدیک به ‎$-15^{\circ}C$‎ و فشار، کسر کوچکی از فشار جو زمین در سطح دریاست.

ث. از رأس ابرها به بالا فشار کاهش پیدا می‌کند ولی دما همچنان ‎$-15^{\circ}C$‎ باقی می‌ماند.

ج. مادهٔ شیمیایی اصلی جو زهره گاز کربنیک است که نزدیک به ۹۷ درصد وزنی آن را تشکیل می‌دهد. سه درصد باقی‌مانده شامل مقادیر اندکی اکسیژن، مونوکسیدکربن، بخار آب، نیتروژن، اسید ئیدروکلریک و ئیدروفلوئوریک، مقدار بسیار اندکی آمونیاک و مقدار زیادی ذره‌های غبار است.

چ. زهره دارای میدان مغناطیسی نیست و اگر هم باشد، شدت این میدان کمتر از یک درصد شدت میدان مغناطیسی زمین است. زهره دارای کمربندی از ذرات پرانرژی به‌دام‌افتاده هم نیست.

ح. زهره دارای یون‌کره است و این یون‌کره برهم‌کنش شدیدی با ذراتی که باد خورشیدی آن‌ها را منتقل می‌کند دارد.

حقیقت آن است که زهره دست کم برای موجودات زمینی بهشت جهانگردان به شمار نمی‌رود. با دمای سطحی ‎$480^{\circ}C$‎، فشار ۹۰ اتمسفر، اکسیژن کم، نبودن آب و وجود مقدار زیادی غبار در هوا و ابرهایی دهشتناک، جای چندان جالب توجهی نیست.

فصل ۱۳

زمین و ماه

قسمت اول: زمین

۱۳-۱ اطلاعات اساسی

نشانه: ⊕

فاصله از خورشید (میانگین): ۱۴۹،۶۵۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۱۷ر۰

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید: نجومی، ۲۵۶ر۳۶۵ روز متوسط خورشیدی (۱ سال)

سرعت مداری (میانگین): ۳۰ کیلومتر در ثانیه

قطر:

حداقل (قطبی)	۱۲،۷۲۰ کیلومتر
حداکثر (استوایی)	۱۲،۷۶۰ کیلومتر

مساحت رویه: ۵۰۰ میلیون کیلومترمربع

حجم: در حدود یک هزار میلیارد کیلومتر مکعب

جرم: $۶ر۶ \times ۱۰^{۲۱}$ تن

چگالی: ۵ر۵ برابر آب

سرعت گریز: ۱۱ کیلومتر بر ثانیه

دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه

زاویهٔ میل استوا با مدار: °۵ر۲۳

تابش ورودی خورشیدی: ۹۴ر۱ کالری بر سانتیمترمربع در هر دقیقه

نسبت بازتاب: ۳۶ر۰

شتاب گرانش در سطح دریا: ۸ر۹ متر بر ثانیه

۲-۱۳ مقدمه

زمین، در جمع نه سیاره‌ای که بر گرد خورشید می‌گردند، از سیارات کوچک به‌شمار می‌رود؛ از حیث قطر و جرم پنجمین سیاره و از لحاظ فاصله از خورشید سیارهٔ سوم است. از این‌ها گذشته، سیاره‌ای است شبیه چند سیارهٔ دیگر. تا آنجا که مشاهده شده، تنها جایی در جهان است که در آن «حیات» وجود دارد.

زمین به‌هیچ‌وجه پایگاه مناسبی برای رصدهای نجومی نیست؛ مشکل اصلی، ساکن نبودن آن است . همهٔ رصدها را باید به خاطر حرکت زمین تصحیح کرد. به علاوه حرکت زمین، حرکتی ساده نیست؛ بلکه ترکیب بسیار پیچیده‌ای از دست کم شش حرکت اساسی است:

آ. زمین به دور محورش دوران می‌کند(روزی یک بار).

ب. محور زمین بر گرد خورشید می‌گردد (سالی یک بار).

پ. محور زمین حرکتی تقدیمی دارد.

ت. محور زمین حرکتی ترقصی دارد(رقص محوری).

ث. خورشید، به همراه زمین و سیارات دیگر، در جمع خوشهٔ محلی ستارگان با سرعت ۲۰ کیلومتر در ثانیه به سمت ستاره نسر واقع حرکت می‌کند.

ج. خوشهٔ محلی ستارگان با سرعتی در حدود چند صد کیلومتر بر ثانیه بر گرد مرکز کهکشان ما می‌گردد.

حواس آدمی این حرکات را درنمی‌یابد، همان طور که مسافران قطاری که با حرکت یکنواخت پیش می‌رود، سرعت آن را حس نمی‌کنند. تنها موقعی که مسافری از پنجره بیرون را نگاه می‌کند، متوجه سرعت واقعی قطار می‌شود. برای ناظر زمینی هم وضع بر همین منوال است. برای پی بردن به حرکات واقعی زمین، مرجع باید حرکات جرم‌های سماوی دیگر باشد.

۳-۱۳ حرکت وضعی

زمین به دور محورش، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخد و هر دوران کامل آن یک روز نجومی طول می‌کشد که مدت آن ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه است (روز نجومی کوتاه‌تر از روز معمولی، مطابق «ساعت»، است که «روز متوسط خورشیدی» نامیده می‌شود).

آزمایش‌های زیادی دال بر آن اند که زمین حول محورش می‌چرخد. از قاطع‌ترین آن‌ها آزمایشی است که ژ. ب. ل. فوکو[1] فیزیکدان فرانسوی در

1- J. B. L. Foucault

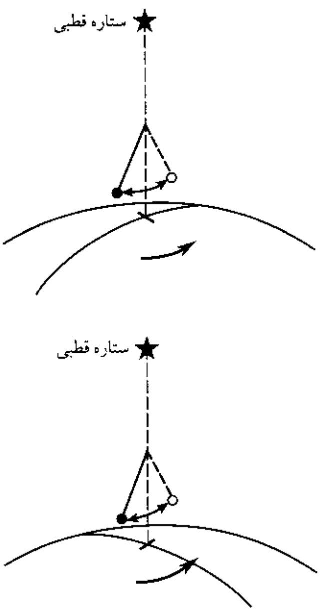
۱۸۵۱ طرح کرد. در این آزمایش، دوران زمین بـه طـور مسـتقیم مشـاهده می‌شود.

تنها وسیلهٔ لازم برای این آزمایش یک آونگ است که از گلوله‌ای سربی و تکه سیمی برای آویختن تشکیل شده است. برای اندازه‌گیری دقیق باید:

آ. سیم بلند باشد

ب. گلوله سربی، سنگین باشد

پ. آونگ از نقطه‌ای ثابت و محکم آویخته شده باشد.



شکل ۳-۱۳ آونگ فوکو. بالا: آزمایش به صورتی که در قطب شمال انجام شود. به خطی که در آغاز آزمایش رسم شده است توجه کنید. پایین. آونگ همچنان در همان صفحه نوسان می‌کند. خط در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت، حرکت کرده است. پس از شش ساعت، خـط بـا صـفحه‌ای کـه آونگ در آن نوسان می‌کند زاویه‌ای 90° می‌سازد. (برای آن که در ۲۴ ساعت شـاهد یک دوران کامل بود، آزمایش باید در قطب شمال زمین انجام گیرد).

بنا بر نظریه‌ای که آزمایش بر آن مبتنی است، آونگی که به آزادی نوسان می‌کند، صفحهٔ نوسانش را حفظ می‌کند؛ یعنی اگر آونگ نوسان را در امتداد شمال- جنوب آغاز کند همچنان در آن امتداد نوسان خواهد کرد تا مقاومت هوا یا اصطکاک آن را به حال سکون درآورد. به شکل ۳-۱۳ نگاه کنید.

طرز عمل چنین است:

آ. آونگ را به نوسان درآورید

ب. بر روی زمین با رسم خطی مسیر گلولهٔ آونگ را مشخص کنید.

پ. یک ساعت بعد نگاه کنید، این خط به اندازهٔ 15° در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت نسبت به صفحه‌ای که آونگ در آن نوسان می‌کند، چرخیده است.

ت. مشاهده می‌کنید که در یک روز نجومی، این خط یک دور کامل را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت پیموده است.

نخستین بار این آزمایش با سیمی ۶۰ متری در پانته‌ئون پاریس انجام شد. آزمایش در عرض جغرافیایی پاریس اندکی پیچیده‌تر است؛ ولی از نتیجهٔ آن یعنی چرخش زمین به دور محورش، گزیری نیست.

گوشزد: ما از حرکت واقعی زمین مطلع نیستیم. آنچه مشاهده می‌شود حرکتی ظاهری است به صورت دوران ظاهری کرهٔ آسمان- یعنی طلوع ستارگان و خورشید از افق شرقی و غروب آن‌ها در افق غربی. نظیر این رابطه میان حرکت واقعی و حرکت ظاهری، در قطار متحرک هم وجود دارد. چون از پنجرهٔ قطاری که رو به شمال می‌رود به بیرون نگاه کنیم حرکت ظاهری منظره‌های مجاور را به سمت جنوب مشاهده خواهیم کرد.

چند اثر مستقیماً معلول چرخش زمین اند:

آ. توالی روز و شب. هر نقطه از زمین متناوباً رو به خورشید (روز) می‌کند یا پشت به آن (شب) می‌دارد.

ب. صلب بودن محور. محور زمین زاویهٔ میل خود را با صفحهٔ مدارش حفظ می‌کند و پیوسته رو به سوی ستارهٔ جدی است. از این لحاظ زمین چرخان شباهت بسیار به یک ژیروسکوپ چرخان دارد. محور زمین نیز مانند محور ژیروسکوپ دارای حرکتی تقدیمی است.

پ. به هر جسمی بر روی زمین یک نیروی گریز از مرکز وارد می‌آید که در استوا بیشترین مقدار را دارد و در قطب صفر است. در نتیجه وزن اجسام در قطب بیشتر است تا در استوا. (این اختلاف جرم بسیار کوچک است و بیشتر از لحاظ علمی مورد توجه است).

ت. پخ بودن زمین در قطب‌ها احتمالاً معلول این چرخش در زمانی بوده است که سطح زمین هنوز حالتی مایع یا شکل‌پذیر داشته است.

۱۳-۴ شکل زمین

شکل زمین خیلی نزدیک به کره است . کوه‌ها و دره‌ها این شکل کروی را اندکی تغییر داده‌اند. در واقع اگر زمین را به گوی بیلیاردی مقیاس کنیم، از گوی بیلیارد کامل‌تر خواهد بود.

این کره، اندکی در قطب‌ها پخ است: قطر قطبی زمین ۴۰ کیلومتر کمتر از قطر آن در استوا است. بنابراین شکل زمین یک «کره‌وار پخ» است.

پخ بودن زمین، تا اندازه‌ای علت تغییر وزن اجسام با عرض جغرافیایی به شمار می‌رود. چون جسمی که در قطب باشد به مرکز زمین نزدیک‌تر است، وزن آن بیشتر است. تفاوت وزن از استوا تا قطب در حدود نیم درصد است.

گوشزد: اطلاعاتی که از ماهواره‌ها به دست آمده حاکی از این است که شکل زمین اندکی به گلابی شباهت دارد. قطب جنوب آن اندکی تو رفته و قطب شمال کمی برآمده است.

۱۳-۵ حرکت انتقالی به دور خورشید

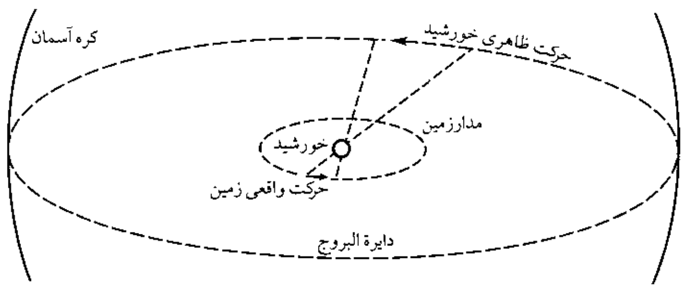
زمین به دور خورشید نیز در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌گردد. (مدار زمین بیضی شکل است و خورشید در یکی از کانون‌های بیضی است. به شکل ۵-۱۳ نگاه کنید).

در این مورد هم ما حرکت واقعی را نمی‌بینیم، بلکه حرکت ظاهری خورشید را می‌بینیم که به نظر می‌رسد در یک سال یک بار به دور زمین می‌گردد. این مدار ظاهری خورشید، دایرةالبروج نامیده می‌شود. نواری به

عرض ۸° در هر سوی دایرة البروج را منطقة البروج می‌خوانند. دوازده صورت برجستهٔ فلکی (بروج دوازده گانه) بر این نوار قرار دارند که خورشید در حرکت ظاهری خود هر سال یک بار از آن‌ها می‌گذرد. این صورت‌ها عبارت اند از حمل، ثور، جوزا، سرطان، اسد، سنبله، میزان، عقرب، قوس، جَدی، دلو و حوت.

خورشید در اواخر اسفند و اوایل فروردین در برج حوت است. اگر بتوان از نور درخشان خورشید کاست، آن را در این موقع می‌توان در این برج دید. میزبانان موقت بعدی حمل و ثور اند. در ماه‌های تابستان خورشید از برج‌های جوزا، سرطان و اسد می‌گذرد و همچنان پیش می‌رود تا هر دوازده برج را بپیماید.

از این حرکت ظاهری خورشید به دور زمین برای تعریف «سال» استفاده می‌شود. سال مدت زمانی است که طول می‌کشد تا خورشید یک دور کامل از میان ستارگان بگذرد و این سال نجومی است نه سالی که معمولاً در نظر داریم و سال اعتدالی نامیده می‌شود و بیست دقیقه کوتاه‌تر از سال نجومی است.



شکل ۵-۱۳ حرکت واقعی زمین، حرکت انتقالی آن برگرد خورشید است. این حرکت به حرکت ظاهری خورشید به دور زمین منجر می‌شود. تصویر مسیر خورشید بر کرهٔ آسمان به دایرةالبروج موسوم است. این اصطلاح اخیر (دایرةالبروج) را به دو صورت دیگر نیز می‌توان تعریف کرد. (۱) دایرةالبروج مسیر زمین است بر کرهٔ آسمان به صورتی که از خورشید دیده می‌شود، (۲) دایرةالبروج محل تقاطع صفحهٔ نامتناهی مدار زمین است با کرهٔ آسمان.

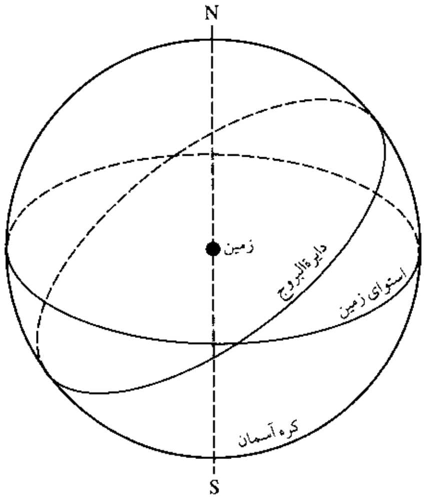
۶-۱۳ زاویه میل استوای آسمان با دایرةالبروج

مسیر حرکت ظاهری خورشید بر کرهٔ آسمان نسبت به معدل‌النهار (یا استوای آسمان) مایل است و زاویهٔ میان دو دایره، ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه است.

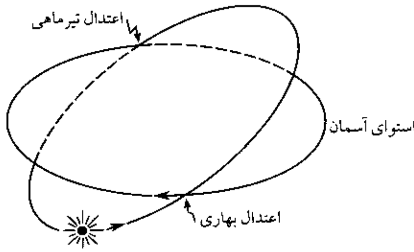
یکی از دو نقطهٔ تلاقی این دو دایره را با علامت ♈ نشان می‌دهند و آن را نقطهٔ اول حمل می‌خوانند. در اینجا خورشید در مسیر خود از بخش جنوبی دایرةالبروج به بخش شمالی آن، استوای آسمان را قطع می‌کند.

نقطهٔ دیگر با علامت ♎ نموده می‌شود و موسوم به نقطهٔ اول میزان است. هنگامی که خورشید در یکی از این دو نقطه است، روز با شب در همه جای زمین برابر است. خورشید در حدود اول فروردین در ♈ است. این نقطه،

اعتدال بهاری (ربیعی) هم خوانده می‌شود. خورشید در حدود اول مهرماه در ♎ است. نقطهٔ اول میزان را اعتدال تیرماهی (خریفی) هم می‌خوانند. به شکل (آ) ٦-١٣ نگاه کنید. زاویهٔ میل میان این دو دایره، علت اساسی فصول بر روی زمین است. وقتی که خورشید در شمال صفحهٔ استوا است، به دو دلیل عمده هوا در نیمکرهٔ شمالی گرم و در نیمکرهٔ جنوبی سرد است.



شکل (آ)٦-١٣ مسیر ظاهری خورشید بر کرهٔ آسمان به دایرةالبروج موسوم است. دایرةالبروج با استوای زمین (یا استوای آسمان) زاویه ′٢٧ °٢٣ می‌سازد. نقاط تلاقی دو دایره نقاط اعتدال نامیده می‌شود.



آ. اشعهٔ خورشید متمرکزتر است. این مطلب در شکل (ب)٦-١٣ رسم شده است. در نیمکرهٔ شمالی این اشعه، گرمای قوس کوچک AB را فراهم می‌سازد. در نیمکرهٔ جنوبی این اشعه بر قوس بسیار بزرگ‌تر CD توزیع شده است. نیمکرهٔ جنوبی گرمای کمتری بر واحد مساحت دریافت می‌کند.

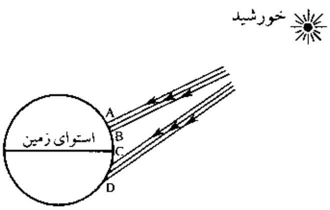
ب. خورشید در نیمکرهٔ شمالی مدت درازتری بالای افق است. در اواخر خرداد در عرض جغرافیایی N °۴۰ از هر ۲۴ ساعت، ۱۵ ساعت روز است. به شکل (پ) ٦-١٣ نگاه کنید.

زمین نه تنها تابش (نور و گرما) دریافت می‌کند، بلکه آن را گسیل هم می‌کند (این گسیلش در حوزهٔ امواج نامرئی فروسرخ است). در تیرماه تابش ورودی بر تابش خروجی فزونی دارد و در نتیجه دمای متوسط افزایش می‌یابد.

زمین در حرکت بیضوی حقیقی خود، به هنگام تابستانِ نیمکرهٔ جنوبی، از همه وقت دیگر به خورشید نزدیک‌تر است. نیمکرهٔ جنوبی در نتیجهٔ این اختلاف فاصله، در حدود ٦ درصد بیش از نیمکرهٔ شمالی انرژی خورشیدی دریافت می‌کند.

این فزونی همیشگی نیست. در حدود ۱۰،۵۰۰ سال دیگر، نیمکره شمالی این ٦ درصد اضافی گرما را دریافت خواهد کرد. این تغییر به تدریج و پیوسته است واز پدیده‌ای موسوم به تقدیم اعتدالین ناشی می‌شود.

شکل (ب)٦-۱۳ اشعهٔ خورشید در نیمکرهٔ شمالی در قوس کوچک AB متمرکز است. همان اشعه در نیمکرهٔ جنوبی بر قوس بزرگ‌تر CD توزیع شده است. این مطلب دلیل اصلی فصل گرم در نیمکرهٔ شمالی است.



۱۳-۷ تقدیم اعتدالین

نقاط اعتدال ثابت و دائمی نیستند. هر نقطه به آرامی بر استوای آسمان حرکت می‌کند و یک دور کامل را تقریباً در حدود ۲۵،۸۰۰ سال می‌پیماید. این حرکت نقاط اعتدال، تقدیم اعتدالین نامیده می‌شود.

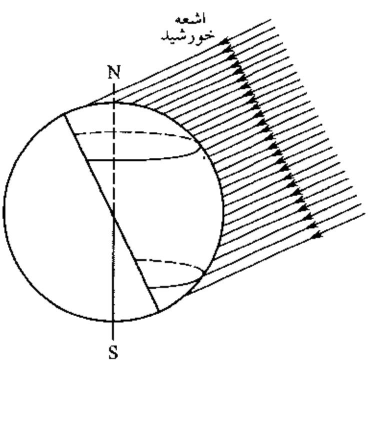
تقدیم اعتدالین در جهت حرکت عقربه‌های ساعت است، حال آن که حرکت ظاهری خورشید در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت است. بنابراین وقتی خورشید به اعتدال بهاری نزدیک می‌شود، نقطهٔ اخیر نیز به پیشواز خورشید می‌آید.

از اعتدال بهاری برای تعریف سال اعتدالی یا سال فصلی استفاده می‌شود، یعنی آن چه معمولاً منظور ما از سال است. تعریف فنی سال اعتدالی چنین است: مدت زمان بین دو عبور متوالی خورشید از نقطهٔ اعتدال بهاری.

به علت حرکت نقطهٔ اعتدال «به پیشواز» خورشید، سال اعتدالی کوتاه‌تر از سال نجومی است که اساس آن ستارگان ثابت است. مقایسه این دو به صورت زیر است:

	سال اعتدالی	سال نجومی
روز	۳٦۵	۳٦۵
ساعت	۵	٦
دقیقه	۴۸	۹
ثانیه	۴٦ر۰	۹ر۵
	۳٦۵ر۲۴۲۲۰ روز	۳٦۵ر۲۵٦۳٦ روز

شکل (پ)٦-۱۳ مدت روز در نیمکرهٔ شمالی بیش از ۱۲ ساعت و در نیمکرهٔ جنوبی کمتر از ۱۲ ساعت است. این امر نیز هنگامی که خورشید بالاتر از استوای آسمان است، عاملی برای فصل گرم به شمار می‌رود. در اول تیرماه خورشید در بیشترین فاصلهٔ خود از استوای آسمان است. در عرض‌های میانه گرم‌ترین وضع هوا بعداً فرا می‌رسد مثلاً دمای متوسط در ایران تا اواخر تیر و اوایل مرداد به بیشترین مقدار خود نمی‌رسد. این تأخیر زمانی معلول رسیدن تابش به تعادل است.



برای پی بردن به علت حرکت تقدیمی بهتر آن است که حرکات واقعی، و نه ظاهری، اجرام موردتوجه قرار گیرد. تصویر حقیقی این است که خورشید ساکن است و زمین در مداری بیضوی به دور آن می‌گردد. محور زمین بر این مدار عمود نیست وزاویه‌ای برابر ۲۷´ ۲۳° با خط عمود بر مدار می‌سازد. به شکل (آ) ۷-۱۳ نگاه کنید. همراه با گردش زمین به دور خورشید و چرخش آن به دور محورش، محور زمین دایرهٔ کوچکی را در آسمان می‌پیماید. در حال حاضر این محور، آسمان را در نقطه‌ای به فاصلهٔ یک درجه از ستاره جدی می‌شکافد. به شکل (ب) ۷-۱۳ نگاه کنید. این نقطه البته قطب شمال آسمان است. در سال ۱۵۰۰ بعد از میلاد قطب شمال آسمان در ۵ر۳ درجه‌ایِ جدی بود و در حدود سال ۲۱۰۰ قطب آسمان متوجه نقطه‌ای خواهد بود که فقط نیم درجه از جدی فاصله خواهد داشت. یعنی قطب در نزدیک‌ترین فاصلهٔ ممکن از جدی خواهد بود.

در حدود سال ۱۴۰۰۰ بعد از میلاد قطب در نقطه‌ای خواهد بود که ۵ درجه با ستارهٔ نسرواقع فاصله خواهد داشت. باید توجه داشت که در آن زمان محور زمینَ «به سمت چپ» متمایل خواهد بود و باز هم زاویهٔ ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه با خط عمود بر مدار خواهد ساخت. به شکل (پ) ۷-۱۳ نگاه کنید.

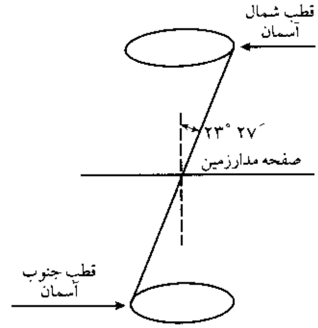
پس از آن نیز قطب همچنان دایرهٔ کوچکی با شعاع ۲۷´ ۲۳° را در آسمان خواهد پیمود و هر دوران را پس از ۲۵،۸۰۰ سال کامل خواهد کرد. مسیر قطب سماوی از میان ستارگان، در شکل (ت) ۷-۱۳ نشان داده شده است.

علت حرکت محور زمین همان علت حرکت محور فرفرهٔ چرخان است. نیروی گرانش موجب می‌شود که محور مایل فرفره حرکت کند (حرکت تقدیمی) و سطح مخروطی را بپیماید. به شکل (ث) ۷-۱۳ نگاه کنید. نیرویی که حرکت تقدیمی محور زمین را سبب می‌شود به وسیلهٔ خورشید و ماه بر برآمدگی مختصر استوایی وارد می‌آید.

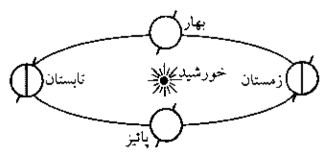
اثر این نیرو، تغییر امتداد محور است نه زاویهٔ میل آن. محور زمین زاویه ۲۷´ ۲۳° خود را حفظ می‌کند و در عین حال هر ۲۵،۸۰۰ سال یک بار سطح مخروط را به طور کامل می‌پیماید.

با دوران محور، نقاط اعتدال حرکت می‌کنند و آن‌ها نیز هر ۲۵،۸۰۰ سال یک گردش کامل را به پایان می‌رسانند.

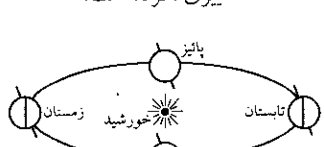
شکل (آ) ۷-۱۳ قطب‌های آسمان دودایره هریک به شعاع ۲۷´ ۲۳° را می‌پیمایند.



شکل (ب) ۷-۱۳ محور زمین در حال حاضر به سمت ستارهٔ جدی است. در تصویر زیر این محور «رو به بالا و متمایل به راست» است.



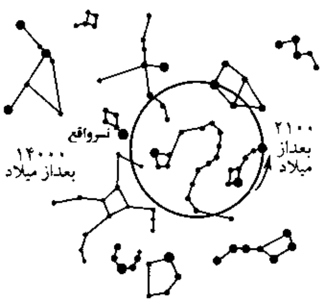
شکل (پ) ۷-۱۳ در حدود سال ۱۴،۰۰۰ بعد از میلاد محور زمین «رو به بالا و متمایل به چپ» خواهد بود. این وضعیت را با زاویهٔ میل کنونی محور زمین «رو به بالا و متمایل به راست» مقایسه کنید. توجه کنید که مقدار زاویهٔ ۲۷´ ۲۳° تغییری نکرده است.



۸-۱۳ رقص محوری

منحنی‌ای که محور زمین رسم می‌کند دایرهٔ صاف و یکدستی نیست. این منحنی تموج‌های کوچکی دارد که معلول «نوسان‌ها»ی محور زمین حول وضعیت میانگین $23^{\circ}\ 27'$ است. حرکت واقعی محور ترکیبی است از حرکت تقدیمی و این «نوسان‌ها». حرکت اخیر به رقص محوری موسوم است. دورهٔ تناوب این تموج، ۱۹ سال است. بیشترین مقدار انحراف آن نه ثانیه قوس است. به شکل ۸-۱۳ نگاه کنید. نیروی گرانش ماه علت عمدهٔ رقص محوری است.

شکل (ت) ۷-۱۳ در سال ۲۱۰۰ بعد از میلاد قطب شمال آسمان در نیم درجه‌ای جدی خواهد بود. در سال ۱۴،۰۰۰ بعد از میلاد قطب در ۵ درجه‌ای ستارهٔ نسر واقع قرار خواهد داشت. در آن زمان نسر واقع ستارهٔ قطبی خواهد بود.



۹-۱۳ ساختمان داخلی زمین

مشاهدهٔ مستقیم داخل زمین، تنها برای چندین کیلومتر از سطح به پایین امکان‌پذیر است. ضخامت پوستهٔ زمین در قاره‌ها بیش از ۳۰ کیلومتر است و در زیر اقیانوس‌ها به ندرت از ۵ کیلومتر فراتر می‌رود.

دانش ما از لایه‌هایی که زیر این پوسته قرار دارد از تحلیل امواج زمین‌لرزه حاصل آمده است.

زمین‌لرزه‌ها معلول لغزش قسمتی از پوستهٔ زمین نسبت به قسمت‌های مجاور است. شکستی که در پوسته ایجاد می‌گردد، گسله نامیده می‌شود.

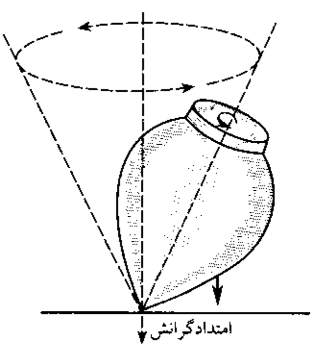
به هنگام لغزیدن، سه نوع موج زمین‌لرزه ایجاد می‌شود:

آ. موج سطحی

ب. موج اصلی

پ. موج ثانوی

شکل (ث) ۷-۱۳ نیروی گرانش است که سبب می‌شود که محور فرفرهٔ چرخان حرکتی «تقدیمی» داشته باشد، یعنی مخروطی را بپیماید.



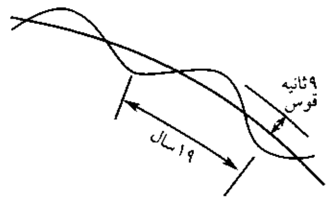
آ. موج سطحی، چنان که از نامش برمی‌آید، مانند امواج اقیانوس بر سطح زمین گذر می‌کند و در میان سه موج بالا از همه کندتر و بسیار خطرناک‌تر است.

ب. موج اصلی که از حیث سرعت در مرحلهٔ بعدی قرار دارد، از مواد جامد و مایع می‌گذرد. موجی است طولی (تراکمی) شبیه امواج صوتی. ذرات مواد جامد و مایع در امتداد خط انتشار موج نوسان می‌کنند.

پ. موج ثانوی از همه سریع‌السیرتر است و تنها از مادهٔ جامد می‌گذرد. موجی است عرضی شبیه امواج اقیانوس. ذرات در امتداد خطی عمود بر خط انتشار موج نوسان می‌کنند.

سرعت این امواج با افزایش چگالی ماده‌ای که از آن می‌گذرند، زیاد می‌شود. تغییر ناگهانی جنس مواد موجب تغییر تندی و امتداد حرکت امواج

شکل ۸-۱۳ منحنیی که قطب شمال آسمان رسم می‌کند، دایره‌ای صاف و یکنواخت نیست. موج‌های این منحنی را رقص محوری گویند. این موج‌ها "طول موجی" برابر ۱۹ سال و دامنه‌ای برابر با ۹ ثانیهٔ قوس دارند.



می‌شود.

رصدخانه‌هایی که در اکناف زمین پراکنده‌اند زمان دریافت امواج گوناگون زمین‌لرزه را به دقت تمام ثبت می‌کنند. مطالعهٔ اختلاف زمان در دریافت امواج اصلی و ثانوی به وسیلهٔ چند رصدخانه، نه تنها کانون لرزه را مشخص می‌کند بلکه اطلاعاتی نیز برای برآورد چگالی و توزیع مواد در داخل زمین، که زمین‌لرزه از میانشان گذشته است، در اختیار ما قرار می‌دهد.

تصویری که از این پژوهش حاصل آمده حاکی از این است که داخل زمین را می‌توان متشکل از چهار بخش دانست: (آ) پوسته، (ب) جُبه، (پ) هستهٔ بیرونی و (ت) هستهٔ درونی.

آ. پوسته، لایه‌ای است که بیش از همه می‌شناسیم و چنان که در بالا گفته شد، ضخامتی در حدود ۳۰ کیلومتر در زیر قاره‌ها دارد ولی ضخامت آن در زیر اقیانوس‌ها به ندرت از ۵ کیلومتر فراتر می‌شود. تجزیهٔ شیمیایی نشان می‌دهد که پوسته تقریباً از ۴۷ درصد اکسیژن، ۲۸ درصد سیلیسیم، ۸ درصد آلومینیوم، ۵ درصد آهن و درصدهای اندکی از تعداد زیادی عناصر دیگر تشکیل شده است.

ب. جبه که تا عمق بین ۲۹۰۰ و ۳۱۰۰ کیلومتر ادامه پیدا می‌کند، از لحاظ شیمیایی به طور عمده متشکل از سیلیکات‌هایی آکنده از منیزیوم و آهن است.

گوشزد: ناپیوستگی موهو[1]، که به نام کاشف آن آندریا موهورویچیچ[2]، زمین‌فیزیکدان یوگسلاو نامیده شده، مرز میان پوسته و جبه است.

پ. هستهٔ بیرونی بیش از ۱۹۰۰ کیلومتر ضخامت دارد و به احتمال زیاد از نیکل و آهن تشکیل شده است و چون امواج ثانوی نمی‌توانند از آن بگذرند، احتمالاً باید به حالت مایع باشد.

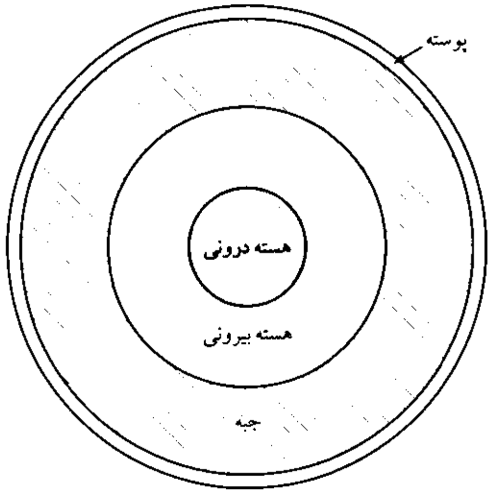
ت. هستهٔ داخلی شعاعی در حدود ۱۵۰۰ کیلومتر دارد. این قسمت نیز مانند لایهٔ خارجی احتمالاً از نیکل - آهن تشکیل شده است. تغییراتی که در انتشار امواج اصلی صورت می‌پذیرد حاکی از آن است که این آلیاژ فلزی به حالت جامد است.

گوشزد: چگالی متوسط زمین ۵٫۵ گرم بر سانتیمترمکعب است. چگالی مواد

1- Moho 2- Andrija Mohorovicic

در نزدیکی سطح زمین ۲٫۷ یاکمتر از نصف چگالی متوسط زمین است.

این فرض که هستهٔ زمین از نیکل - آهن است، مقدار زیاد چگالی متوسط زمین را توضیح می‌دهد. حرکت دورانی این هستهٔ فلزی، علت میدان مغناطیسی زمین شمرده می‌شود. به شکل ۹-۱۳ نگاه کنید.



شکل ۹-۱۳ چهار لایهٔ زمین: پوسته، جبه، هستهٔ بیرونی و هستهٔ درونی.

۱۰-۱۳ مغناطیس زمین

شکل میدان مغناطیسی زمین در تقریب اول شبیه میدان در نزدیکی یک آهنربای میله‌ای است. محور میدان مغناطیسی زمین زاویه‌ای 12° با محور جغرافیایی زمین می‌سازد. یکی از قطب‌های مغناطیسی در نزدیکی خلیج هودسن (در کانادا) است و دیگری در سرزمین ویکتوریا در قارهٔ جنوبگان. چنین به نظر می‌رسد که مکان قطب‌ها گهگاه تغییر می‌کند.

میدان مغناطیسی زمین را معلول جریان‌های آهن مایع در هستهٔ زمین می‌دانند.

یکی از موارد استفاده از میدان مغناطیسی زمین، جهت‌یابی عقربهٔ قطب‌نمای مغناطیسی است. عقربهٔ قطب‌نما جهتی موازی با خط مغناطیسی موضعی اختیار می‌کند.

ماهواره‌ها و گردونه‌های تجسس فضایی نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی گرداگرد زمین بسی پیچیده‌تر از تقریب اولی است که در بالا بدان اشاره شد. این پیچیدگی معلول برهم‌کنش میان میدان مغناطیسی حاصل از باد خورشیدی و

میدان مغناطیسی «عادی» زمین است.

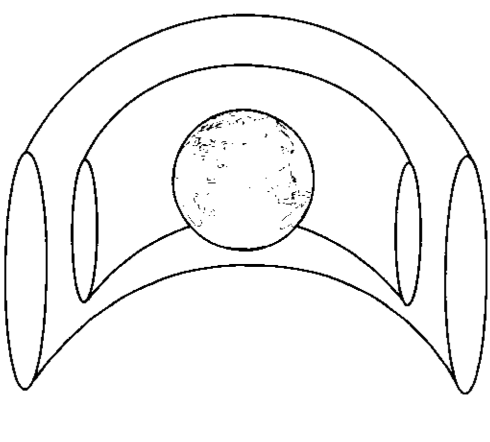
حاصل این برهم‌کنش میدانی است موسوم به مغناطیس‌کره که تا ۸۰ هزار کیلومتر در سمت خورشید و ۲۴۰ هزار کیلومتر در سوی مخالف ادامه می‌یابد. اطلاعات حاصل از ماهوارهٔ اکسپلورر[1] ۱۰ در سال ۱۹۶۱ وجود این «دنبالهٔ» ۲۴۰ هزار کیلومتری را آشکار ساخت.

۱۱-۱۳ کمربند ذرات باردار پرانرژی

زمین را علاوه بر میدان مغناطیسی، دو کمربند از ذرات باردار پرانرژی احاطه کرده است. این کمربندها بیشتر متشکل از پروتون‌ها و الکترون‌های پرانرژی‌ای است که در میدان مغناطیسی زمین به دام افتاده‌اند.

این کمربندها که به اسم فیزیکدان آمریکایی جیمز آ. وان آلن[2] نامیده شده است، در ضمن یکی از برنامه‌های تحقیقاتی ماهوارهٔ اکسپلورر ۱ در ۱۹۵۸ کشف شد و سپس با اطلاعاتی که پایونیر ۳ در ۱۹۵۹ به‌دست آورد مورد تأیید قرار گرفت. کمربندها به شکل چنبره اند. کمربند داخلی به فاصلهٔ ۳،۲۰۰ کیلومتری و کمربند بیرونی در ۱۶،۰۰۰ کیلومتری سطح زمین قرار دارد.

پروتون‌ها و الکترون‌های پرانرژیِ به دام افتاده، مسیری مارپیچی را به دور خطوط نیروی مغناطیسی زمین می‌پیمایند و در چند روز یا چند هفته‌ای که در دام اند، میان دو نیمکره رد و بدل می‌شوند. به شکل ۱۱-۱۳ نگاه کنید.



شکل ۱۱-۱۳ دو کمربند چنبره مانند والن آلن. در این نواحی ذرات باردار پر انرژی متمرکز اند.

1- Explorer

2- James A. Van Allen

۱۲-۱۳ جو

گرداگرد سطح زمین را پوششی از هوا احاطه کرده است. این پوشش آدمی را از تابش فرابنفش خورشید محفوظ می‌دارد و موجب اعتدال دماهای بسیار متفاوت سطح زمین می‌شود.

هوا مخلوطی از چند گاز است نه ترکیبی شیمیایی. هفتاد و هشت درصد حجمی این مخلوط نیتروژن و ۲۱ درصد آن اکسیژن وکمتر از یک درصد آن آرگون است و مقدار بسیار کمی گاز کربنیک و بخار آب دارد. احتمالاً این درصدها در بخش فوقانی جو متفاوت است و در ارتفاعات ۵۰ تا هفتاد کیلومتر از سطح زمین ئیدروژن و هلیوم اهمیت خاصی پیدا می‌کنند.

فشار متوسطی که این جو در سطح دریا وارد می‌آورد برابر با ۱۰۱،۳۲۵ نیوتن بر مترمربع یا ۱۰۱۳٫۲ میلی‌بار است. میلی‌بار واحدی است که در هواشناسی به کار می‌رود. البته مقدار بالا یک مقدار متوسط است. مقدار واقعی فشار جو با زمان تغییر می‌کند. معمولاً فشارهای زیاد - مثلاً ۱۰۳۰ میلی‌بار - با وضعیت جوی خوب همراه است و فشارهای کم - مثلاً ۹۸۰ میلی‌بار - با بارندگی.

فشار در سطح دریا را وزن هوایی موجب می‌شود که روی آن قرار دارد. چون از سطح دریا بالاتر رویم فشار کم می‌شود. در ارتفاع ۵٫۵ کیلومتری فشار نصف ۱۰۱۳ میلی‌بار است و در ارتفاع ۱۱ کیلومتری یک چهارم آن. هر ۵٫۵ کیلومتر، فشار به نصف مقدار قبلی کاهش پیدا می‌کند.

چگالی هوا نیز از همان قاعدهٔ فشار تبعیت می‌کند. در ارتفاع ۵٫۵ کیلومتر از سطح دریا، چگالی ۵۰ درصد مقدار آن در سطح دریاست. در ۱۶۰ کیلومتری، چگالی هوا کمتر از چگالی بهترین خلایی است که در آزمایشگاه می‌توان به دست آورد. اطلاعاتی که از ماهواره‌های ونگارد[1] (۱۹۵۸) و اکسپلورر ۹ (۱۹۶۱) به دست آمده به وضوح تمام نشان می‌دهد که چگالی در هر ارتفاع معین از روزی به روز دیگر کاملاً تغییر می‌کند و علت عمدهٔ این تغییر، تغییرات فعالیت خورشیدی است.

جو زمین دارای لایه‌ای فوقانی نیست که کاملاً مشخص و مجزا باشد. مطالعهٔ شخانه‌ها دال بر وجود هوا تا حدود ۱۶۰ کیلومتری سطح زمین است؛ مطالعهٔ شفق‌های قطبی از وجود هوا، دست کم در ارتفاع ۷۰۰ کیلومتر از سطح دریا حکایت می‌کند. جو زمین را می‌توان به چهار لایه تقسیم کرد: (آ) گشت‌کره، (ب) پوش‌کره، (پ) یون‌کره و (ت) بیرون‌کره.

1- Vanguard

(آ) گشت‌کره. یکی از کارهای گشت‌کره تنظیم دما در سطح زمین است. انرژی خورشیدی معمولاً به مقدار زیاد در عرض‌های جغرافیایی کم و به مقداری کمتر در عرض‌های جغرافیایی شمالی تأمین می‌شود. گردش هوا میان عرض‌های جغرافیایی مختلف قسمتی از این گرمای اضافی را همراه با توده‌های عظیم هوا به نواحی سردتر (و یا به عکس) منتقل می‌کند. توده‌های هوای گرم مقادیر زیادی گرما را با خود به شمال می‌برند و توده‌های هوای سرد به جنوب منتقل می‌شوند تا عرض‌های جغرافیایی جنوبی را سرد کنند. مرزهای میان این توده‌های وسیع هوا را جبهه گویند.

در این مرزهای میان توده‌های هوا، یعنی در این جبهه‌ها است که قسمت عمدهٔ شرایط جوی سخت و طوفانی - ابر و مه و انواع بارندگی - واقع می‌شود.

ارتفاع گشت‌کره با عرض جغرافیایی تغییر می‌کند و از ۱۶ کیلومتر از سطح دریا در استوا به کمتر از ۸ کیلومتر در قطب‌ها می‌رسد.

دمای گشت‌کره از مقدار متوسط $13^\circ C$ در سطح دریا به مقدار $-50^\circ C$ در رأس این لایه کاهش پیدا می‌کند. گشت‌مرز، مرز فاصل میان گشت‌کره و لایهٔ بعدی است.

ب. پوش‌کره تا ۶۵ کیلومتر فراتر از گشت‌کره ادامه می‌یابد. دما در ۱۵ کیلومتر اول این لایه در مقدار متوسط $-50^\circ C$ ثابت می‌ماند؛ سپس در ۱۵ کیلومتر بعدی به $0^\circ C$ می‌رسد و بالاخره در ۳۰ کیلومتر بالایی این لایه به $-110^\circ C$ نزول می‌کند.

جریان‌های هوا در پوش‌کره بیشتر افقی یعنی به موازات سطح زمین است.

از نظر شیمیایی، پوش‌کره جز در دو مورد زیر شبیه نواحی پایینی جو است (به شکل ۱۲-۱۳ نگاه کنید):

۱- بخار آب آن کمتر است.

۲- ازن آن بسیار بیشتر است. ازن (O_3) از تأثیر تابش فرابنفش خورشید بر ملکول‌های اکسیژن (O_2) در پایین‌ترین بخش (۱۵ کیلومتری) پوش‌کره به وجود می‌آید.

گوشزد: ازن که مرکب از ملکول‌هایی با سه اتم اکسیژن است نسبت به تابش فرابنفش خیلی کوتاه خورشیدکدر است. جذب تابش فرابنفش به وسیلهٔ ازن بسیار مهم است، زیرا این تابش برای همهٔ انواع حیات بر روی زمین فوق‌العاده زیان‌آور است.

پوش‌کره در حدود یک پنجم جرم کل جو را شامل می‌شود.

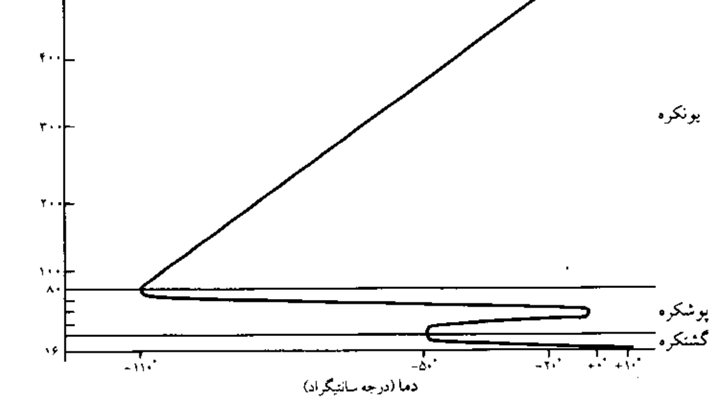
پ. یونکره. ضخامت این لایه از ۸۰ تا ۵۰۰ کیلومتر تغییر می‌کند. عده اتم‌های یونیده در آن قابل ملاحظه است. یونش، معلول تابش فرابنفش و پرتو X خورشید است. در یون‌کره سه لایهٔ متمایز از یکدیگر را می‌توان تشخیص داد که به لایه‌های D، E و F معروف اند و هر لایه ویژگی‌های خود را دارد. اما هر سه لایه از نظر مخابرهٔ رادیویی بلندبرد واجد اهمیت بسیار است. انعکاس‌های متوالی امواج میان این لایه‌ها و زمین ارسال پیام‌های رادیویی را به دور زمین امکان‌پذیر می‌سازد.

لایه D، به ارتفاع حدود ۱۰۰ کیلومتر از سطح دریا، برای بازتاب مخابرات رادیویی با طول موج بلند واجد اهمیت است. لایهٔ E در ۱۴۰ کیلومتری سطح دریا در بازتاب امواج رادیویی با طول موج متوسط از همه کارآتر است و بالاخره لایه F در اوتفاع ۲۴۰ کیلومتری، مخابرات رادیویی با طول موج کوتاه را بازمی‌تابد.

به طوری که در بخش ۸-۱۱ گفته شد، اشعه‌ای که از شراره‌های خورشیدی گسیل می‌شود، در طی مدتی که این شراره‌های فام سپهری دوام دارند، به شدت مخابرات رادیویی را مختل می‌کند.

ت. بیرون‌کره. لایه‌ای است که بالاتر از یون‌کره جای دارد و تا فضای خارج ادامه می‌یابد. در این ناحیه است که فرار ملکولی و اتمی از جو زمین قابل ملاحظه می‌گردد. اتم‌ها و ملکول‌های سبک‌تر حتی اگر در قاعدهٔ بیرون‌کره باشند می‌توانند بگریزند ولی ذرات سنگین‌تر تنها از ارتفاعات بالاتر می‌گریزند. میدان مغناطیسی زمین مانع فرار ذرات یونیده می‌شود.

نمودار این چهار لایهٔ جو زمین در شکل ۱۲-۱۳ رسم شده است.



شکل ۱۲-۱۳ چهار لایهٔ جو. خاصه به تغییرات دما با ارتفاع در گشت‌کره توجه کنید.

* تقسیم‌بندی تفصیلی‌تر لایه‌های جو، به شرح زیر است:
گشت‌کره، میان کره، گرماکره و بیرون کره.

میان‌کره بعد از گشت‌کره جای دارد. در این لایه دما نزول می‌کند و به $-100^\circ C$ می‌رسد. مرز فوقانی میان‌کره مزوپاز نام دارد. از مزوپاز به بالا دما افزایش می‌یابد.

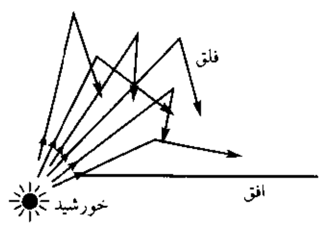
یون‌کره بخش تحتانی گرماکره است. در گرماکره، دما با ارتفاع زیاد می‌شود و به $2000^\circ C$ می‌رسد. *

۱۳-۱۳ جو در نجوم

جو زمین به چند طریق بر تابش ورودی تأثیر می‌گذارد. (آ) بازتاب، (ب) جذب، (پ) پراکندگی و (ت) شکست نور.

آ. بازتاب. پدیدهٔ فلق و شفق نتیجهٔ مستقیم انعکاس نور از ذرات غبار و دود است. اشعهٔ خورشید پس از غروب یا پیش از طلوع آن، از این ذرات به سمت زمین بازمی‌تابد و بدین طریق بر طول روز افزوده می‌شود. به شکل (آ) ۱۳-۱۳ نگاه کنید. شفق (یا فلق) نجومی تا زمانی که مرکز خورشید 18° در افق فرو رود، دوام می‌آورد. از آن پس حتی کمسوترین ستاره‌ها را می‌توان دید.

شکل (آ) ۱۳-۱۳ شفق و فلق معلول بازتاب نور از ذرات در بخش فوقانی جو است. بر اثر این بازتاب، روز مدتی پس از غروب خورشید یا مدتی پیش از طلوع آفتاب دوام می‌آورد.

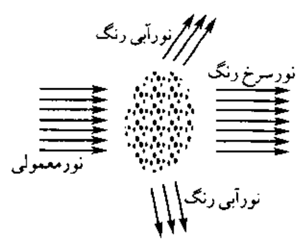


ب. جذب. جو زمین جذب‌کننده‌ای گزینشی است؛ برخی از طول موج‌های نور را تقریباً صد در صد و طول‌موج‌های دیگر را فقط تا اندازه‌ای، جذب می‌کند. تابش فرابنفش کوتاه یکسره در جو جذب می‌شود. در مورد امواج نور فقط بخشی از آن‌ها جذب می‌گردد.

جذب گزینشی کار منجم را دشوار می‌سازد. نوری که به چشم ناظر می‌رسد تفاوتی عمده با نوری دارد که ستاره را ترک گفته است. این تفاوت باید در مطالعهٔ طیف ستارگان ملحوظ شود.

پ. پراکندگی. این اثر معلول پراکنش نور از ملکول‌های هوا است و میزان آن به رنگ نور بستگی دارد. نور آبی به سهولت بیشتری از نور سرخ پخش یا پراکنده می‌شود. این پراکندگی گزینشی، هم علت رنگ آبی آسمان و هم موجب رنگ سرخ و نارنجی غروب است. رنگ آبی آسمان معلول ارجحیتی است که ملکول‌های طبقات فوقانی جو برای پراکندگی این رنگ قایل می‌شوند و نور آبی را در همهٔ جهات می‌پراکنند. رنگ سرخ و نارنجی غروب از آن رو است که اشعهٔ مستقیم به هنگام غروب بخش عمدهٔ نور آبی خود را از دست می‌دهد و رنگ سرخ به جا می‌ماند. به شکل (ب) ۱۳-۱۳ نگاه کنید.

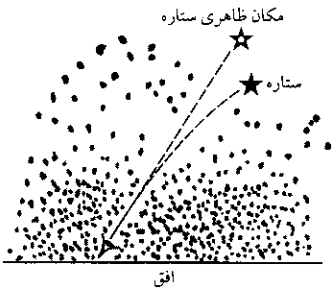
شکل (ب) ۱۳-۱۳ نور معمولی در عبور از یک گاز هم پراکنده و هم منتشر می‌شود. نور پراکنده شده از حیث طول موج‌هایی که آبی رنگ اند غنی‌تر است. بخش منتقل شده در نتیجهٔ فقدان طول موج‌های آبی، سرخ‌رنگ به نظر می‌رسد.



ت. شکست نور. نور چون از فضای میان- ستاره‌ای وارد جو شود، می‌شکند و هرچه بیشتر به لایه‌های چگال‌تر نزدیک سطح زمین نفوذ کند، بیشتر می‌شکند. در نتیجه همهٔ اجرام آسمانی بالاتر از آنچه واقعاً هستند به نظر می‌رسند. میزان این افزایش در ارتفاع در نزدیکی افق از همه جا بیشتر است و هرچه به سمت‌الرأس نزدیک‌تر شویم کمتر می‌شود. در نزدیکی افق، مقدار این شکست بالغ بر نیم درجه است به شکل (پ) ۱۳-۱۳ نگاه کنید. در ارتفاع 10° از افق مقدار آن به $\frac{1}{10}$ درجه کاهش پیدا می‌کند و البته در سمت‌الرأس صفر است.

شکست نور موجب می‌شود که ستاره‌ها و خورشید را بتوان اندک زمانی پیش از طلوع و مدت کوتاهی پس از آن که غروب کرده‌اند، دید و نیز شکست نور باعث چشمک زدن ستارگان می‌شود. چگالی هوا در سطوح مختلف بر اثر بادهای موجود در آن سطوح، نسبتاً به سرعت تغییر می‌کند. شکست نور ستارگان در عبور از هوا، از یک لایه به لایه دیگر فرق می‌کند و این علت «چشمک زدن» ستارگان است.

شکل (پ)۱۳-۱۳ نور ستارگان بر اثر شکست، خم می‌شود. چشم آدمی ستاره را در آسمان بالاتر از آن‌چه واقعاً هست می‌بیند. این زاویه برای ستارگانی که نزدیک افق اند نیم درجه است.



قسمت دوم: ماه

۱۳-۱۴ اطلاعات اساسی

نشانه: ☾

خروج از مرکز مدار: ۰٫۰۵۵

زاویهٔ میل مدار با صفحهٔ دایرةالبروج: $5^\circ 9'$

دورهٔ تناوب گردش به دور زمین:

نجومی	۲۷٫۳۲ روز
هلالی	۲۹٫۵۳ روز

سرعت مداری: یک کیلومتر بر ثانیه

فاصله از زمین:

کمترین	۳۶۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۴۰۰،۰۰۰ کیلومتر

قطر زاویه‌ای: متوسط ۳۱ دقیقه و ۵٫۲ ثانیه

قطر: ۳،۴۶۰ کیلومتر

جرم: $\frac{1}{81/3}$ جرم زمین

چگالی: ۶۱ر۰ چگالی زمین
شتاب گرانش سطحی: $\frac{۱}{۶}$ شتاب گرانش زمین
سرعت گریز: ۳۸ر۲ کیلومتر بر ثانیه.
دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۳۲ر۲۷ روز
زاویهٔ میل استوا با صفحهٔ مدار: $۵ر۱^{\circ}$
دما:

کمترین	$-۱۴۰^{\circ}C$
بیشترین	$۱۵۰^{\circ}C$

نسبت بازتاب: ۰۷ر۰

۱۳-۱۵ مقدمه

زمین یک قمر دارد و این قمر در حالی که زمین خود به دور خورشید می‌گردد، برگرد زمین حرکت می‌کند. اگرچه حجم ماه فقط $\frac{۱}{۵}$ حجم زمین و جرم آن $\frac{۱}{۸۱}$ جرم زمین است، تأثیرش بر زمین، شایستهٔ اعتنای بیشتری است. خیز و افت تناوبی سطح اقیانوس‌ها - جزر و مد - نمونه‌ای از اثرهای ماه بر زمین است.

نزدیکی زیاد ماه به زمین، مطالعهٔ آن را از نخستین روزهای پیدایش نجوم، امکان‌پذیر ساخته است. فاصلهٔ متوسط آن فقط ۶۰ برابر شعاع زمین است.

البته بخشی از اطلاعات ما به کمک تلسکوپ به دست آمده است، ولی بخش زیادی از آنچه می‌دانیم از مشاهده با چشم برهنه حاصل شده است . در واقع بسیاری از این اطلاعات، دانش همگانی شده است ، از جمله این که ماه هر ماهه دور کاملی از حالت‌های مختلف - از ماه نو تا هلال و تربیع و غیره‌را درمی‌نوردد، و نیز این که ماه تقریباً همان مسیری را بر آسمان می‌پیماید که خورشید طی می‌کند.

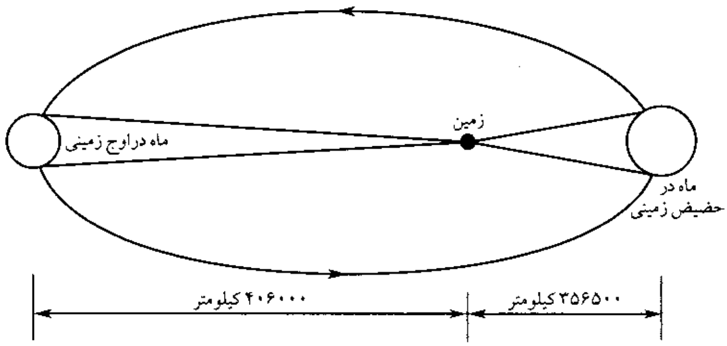
همه می‌دانند که ماه هر روز به طور متوسط ۵۱ دقیقه دیرتر از روز قبل طلوع می‌کند و نیز این که همواره یک روی ماه به سوی زمین است وروی دیگر همیشه پوشیده است.

۱۳-۱۶ ماه در مدار خود

ماه در مداری بیضی شکل، که زمین در یکی از کانون‌های آن است، به دور زمین می‌گردد. نقطه‌ای بر این مدار که از همهٔ نقاط دیگر به زمین نزدیک‌تر است حضیض زمینی نامیده می‌شود. فاصلهٔ ماه از زمین در حضیض زمینی آن ۳۶۰،۰۰۰ کیلومتر است. نقطه‌ای بر این بیضی که از همهٔ نقاط دیگر از زمین

دور تر است اوج زمینی نام دارد و فاصلهٔ آن از زمین ۴۰۰،۰۰۰ کیلومتر است. به شکل (آ) ۱۶-۱۳ نگاه کنید.

صفحهٔ مدار ماه بسیار نزدیک به صفحهٔ دایرةالبروج، یعنی مسیر ظاهری خورشید بر کرهٔ آسمان است و با آن زاویهٔ 5° می‌سازد. به شکل (ب) ۱۶-۱۳ نگاه کنید. دو نقطه ای که در آن مسیر ماه صفحهٔ دایرةالبروج را قطع می‌کند، نقاط گره یا عقدتین نامیده می‌شود. این نقاط در فضا ثابت نیستند بلکه در جهت حرکت عقربه‌های ساعت در امتداد دایرةالبروج حرکت می‌کنند و هر دور کامل این حرکت نوزده سال طول می‌کشد.

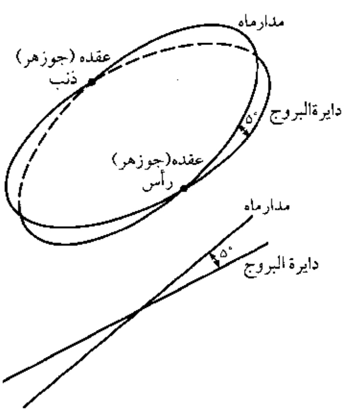


شکل (آ)۱۶-۱۳ ماه در مدار خود. ناظری که بالای قطب شمال زمین است ماه را می‌بیند که مداری بیضی شکل را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌پیماید.

چنین به نظر می‌رسد که ماه مسیر خود را بسیار سریع‌تر از خورشید می‌پیماید: یک سال تمام طول می‌کشد تا خورشید دور کامل را طی کند ولی ماه یک ماهه چنین می‌کند. در نیمی از این مدت ماه بالای دایرةالبروج است و در نیم دیگر زیر آن.

این حرکت ظاهراً تندتر موجب می‌شود که ماه هرروز کمی، در حدود ۵۱ دقیقه، دیرتر از روز قبل طلوع کند.

شکل (ب)۱۶-۱۳ مدار ماه زاویه‌ای 5° با سطح مدار ظاهری خورشید (دایرةالبروج) می‌سازد. این زاویه را هم به صورت پرسپکتیو (شکل بالا) هم از کنار (شکل زیر) می توان دید.



۱۷-۱۳ جزر و مد (کشند)

سطح اقیانوس‌ها، در تمام نقاط به فواصل زمانی کم‌وبیش منظم بالا می‌آید و پایین می‌رود. به طور متوسط فاصلهٔ زمانی بین دو مد متوالی ۱۲ ساعت و ۲۵٫۵ دقیقه است، درست نصف زمانی که طول می‌کشد تا ماه ظاهراً یک دور کامل را به دور زمین بپیماید یعنی نصف ۲۴ ساعت و ۵۱ دقیقه. این امر یک تصادف نیست؛ علت اصلی جزر و مد یا کشند اقیانوس‌ها، نیروی گرانش ماه است. خورشید نیز در این پدیده سهمی دارد.

ایجاد جزر و مد، به صورتی اندک اغراق آمیز، در شکل (آ) ۱۷-۱۳

تصویر شده است. A مرکز زمین جامد را نمایش می‌دهد؛ B تودهٔ آبی است که در سمت ماه است؛ و C تودهٔ آبی است که در سوی دیگر زمین جای دارد.

البته نیروی گرانشی ماه، هم به B و C و هم به A وارد می‌شود. شدت این نیرو در B از همه بیشتر است، زیرا B از نقاط دیگر به ماه نزدیک‌تر است. در C به علت دوری آن، نیروی گرانشی از همه کمتر است. پیکانی‌هایی که در A،C و B گذاشته شده، اندازه‌های مختلف «کشش» ماه را نشان می‌دهد. اختلاف این کشش‌ها سبب می‌شود که:

آ. در B مد وجودداشته باشد، زیرا با نیروی بزرگ‌تری از A به سمت ماه کشیده می‌شود.

ب. در C مد وجود داشته باشد زیرا زمین از زیر آن «کشیده می‌شود» و در نتیجه سطح آب نسبت به زمین بالا می‌آید.

پ. در دو سوی دیگر زمین، D و E، جزر وجود داشته باشد، زیرا آب از آن نقاط خارج می‌شود تا آب لازم برای مد تأمین شود. شکل (ب) ۱۷-۱۳

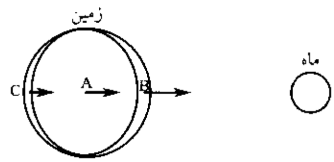
جزر و مد همراه با حرکت ظاهری ماه، از افق شرقی ناظر به سمت افق غربی او پیش می‌روند. صرف‌نظر از تأخیرهایی که معلول اصطکاک و آثار ثانوی دیگر اند (و ممکن است به شش ساعت هم برسند)، جزر و مد در هر نقطهٔ زمین، زمانی روی می‌دهد که ماه در نصف‌النهار مکان (یا در نیم دایرهٔ متقابل آن) باشد.

اثر خورشید در جزر و مد نسبت به اثر ماه از درجهٔ دوم اهمیت برخوردار است. زیرا فاصلهٔ آن بسی بیشتر است. نسبت نیروی مولد جزر و مد خورشید فقط در حدود ۷ درصد نیروی ماه است.

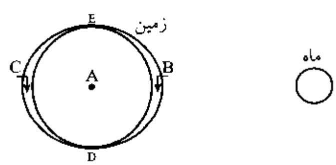
وقتی که نیروهای مولد جزر و مد ماه و خورشید هماهنگ با یکدیگر عمل کنند، مثلاً به هنگام ماه نو که هر دو در یک طرف زمین اند، جزر و مدهای حاصل در حداکثر اند. این جزر و مدها جزر ومدهای بهاری یا مهکشند نامیده می‌شوند. حد دیگر موقعی است که خورشید و ماه با هم زاویهٔ °۹۰ بسازند. در این هنگام جزر و مد در حد اقل و به جزر و مدهای خفیف یا کهکشند موسوم است.

نزدیکی ماه نیز تأثیری در ارتفاع جزر و مد دارد. هنگامی که ماه در حضیض زمینی قرار دارد نیروی مولد جزر و مد آن به اندازهٔ ۲۰ درصد بیش از حد عادی است.

شکل (آ) ۱۷-۱۳ ایجاد جزر و مد. نیرویی که در A زمین جامد را می‌کشد بزرگ‌تر از نیرویی است که در C چنین می‌کند و در نتیجه زمین گویی که از زیر پای C کشیده می‌شود (به طرف راست) و مد به وجود می‌آید. نیرو در B بزرگ‌تر است تا در A و در نتیجه در B تودهٔ آب از زمین جامد بالا می‌آید و در نتیجهٔ آن در بخشی از زمین که رو به ماه است، مد روی می‌دهد.

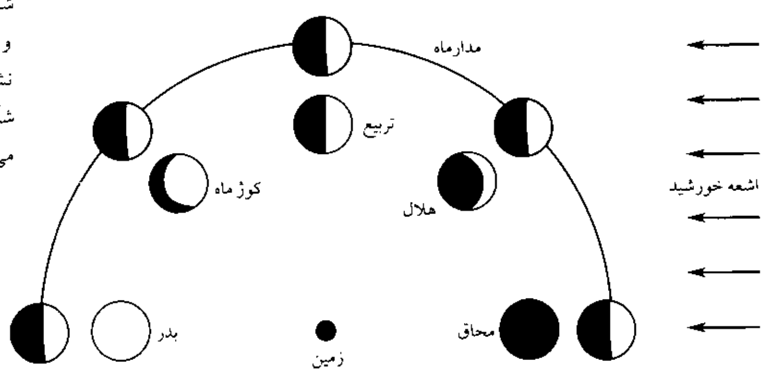


شکل (ب) ۱۷-۱۳ آب در B از زمین «می‌گریزد» و موجب مد می‌گردد. آب در C از زمین «گریزان» عقب می‌افتد پس در آنجا هم مد داریم. در همان زمان توده‌های آب در E و D در جزر خواهند بود.



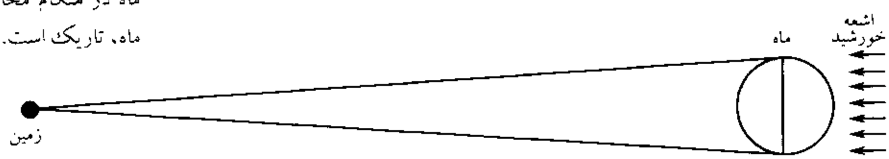
۱۸-۱۳ اهلهٔ ماه

تغییرات ظاهری سیمای ماه، از هلال نازک تا قرص تمام و سپس دوباره تا هلال نازک معلول گردش آن به دور زمین است (به شکل (آ) ۱۸-۱۳ نگاه کنید). ولی ماه نور خود را از خورشید کسب می‌کند. به هنگام ماه نو، وضع به این قرار است:



شکل (آ) ۱۸-۱۳ اهلهٔ ماه. پنج دایرهٔ واقع بر مدار ماه، نیمکرهٔ روشن ماه را نشان می‌دهند. در پنج دایرهٔ داخلی شکل ماه به صورتی که از زمین دیده می‌شود، نشان داده شده است.

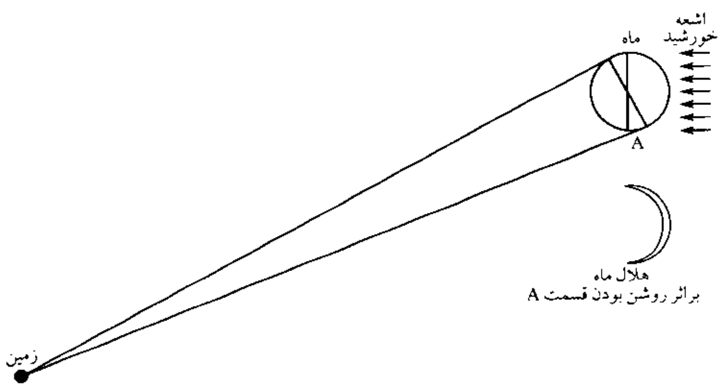
طرف روشن ماه از زمین روی گردانده و طرفی که به جانب زمین است تاریک است. به شکل (ب) ۱۸-۱۳ نگاه کنید.



شکل (ب) ۱۸-۱۳ خورشید، زمین و ماه در هنگام محاق. سمت رو به زمین ماه، تاریک است.

چند روز بعد وضع زمین، خورشید و ماه به صورتی است که در شکل (پ) ۱۸-۱۳ نشان داده شده است. ناظر زمینی هلالی از نور در A می‌بیند.

تا به نیمهٔ ماه برسیم ماه را به صورت‌های محاق، هلال، تربیع، کوژماه (تثلیث) و بدر دیده‌ایم.

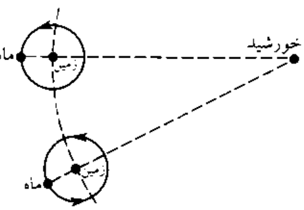


شکل (پ) ۱۸-۱۳ هلال ماه. قسمت A از سطح روشن ماه به توسط ناظر زمینی، به صورت هلالی باریک دیده می‌شود.

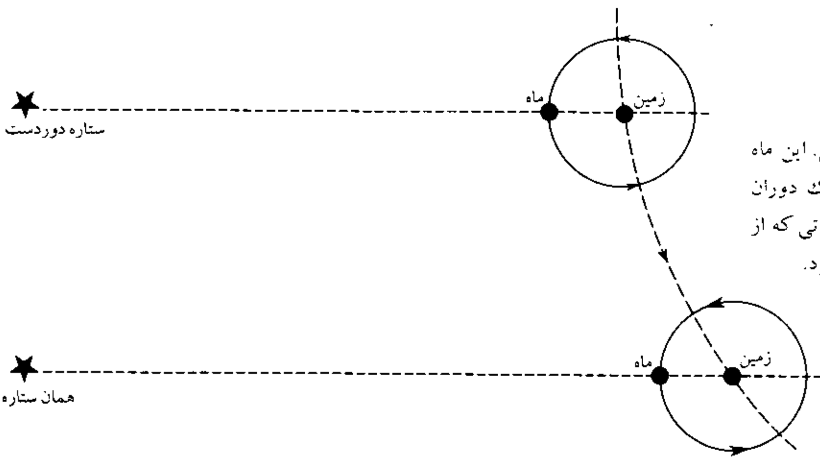
۱۳-۱۹ ماه هلالی و ماه نجومی

آ. ماه هلالی. فاصلهٔ زمانی بین دو محاق یا دو بدر متوالی ماه است. مدت آن ۵۳ر۲۹ روز یا دقیق‌تر ۲۹ روز و ۱۲ ساعت و ۴۴ دقیقه و ۷۸ر۲ ثانیه است. تعریف ماه هلالی به مجموعهٔ خورشید، زمین و ماه بستگی دارد. تعریف دیگر ماه هلالی چنین است. مدت زمان متوسطی است که از یک بار قرار گرفتن خورشید، زمین و ماه بر یک خط، تا بار دیگر طول می‌کشد. ماه هلالی را ماه قمری هم می‌خوانند. به شکل (آ) ۱۹-۱۳ نگاه کنید.

ب. ماه نجومی کوتاه‌تر از ماه هلالی است و طول مدت آن برابر ۳۷ر۲۷ روز یا ۲۷ روز و هفت ساعت و ۴۳ دقیقه و ۴۷ر۱۱ ثانیه است. تعریف ماه نجومی بر ستارگان ثابت مبتنی است: و آن مدت میان دوبار متوالی است که زمین، ماه با ستارهٔ ثابت واحدی بر یک خط قرار گیرند. به شکل (ب) ۱۹-۱۳ نگاه کنید.



شکل (آ) ۱۹-۱۳ ماه هلالی. ماه هلالی عبارت از مدت زمان بین دوبار متوالی است که خورشید و زمین وماه بر یک خط می‌شوند. در بخش بالایی این شکل سه جرم بر یک خط مستقیم اند. بعد از یک ماه هلالی، باز هر سه بر یک خط خواهند بود.



شکل (ب) ۱۹-۱۳ ماه نجومی. این ماه عبارت است از مدت زمان یک دوران کامل ماه به دور زمین به صورتی که از ستاره‌ای دوردست دیده می‌شود.

ماه هلالی طولانی‌تر است زیرا همزمان با گردش ماه به دور زمین، زمین نیز به دور خورشید می‌گردد. ماه باید اندکی پیش‌تر رود تا مجدداً هر سه جرم بر یک خط قرار گیرند.

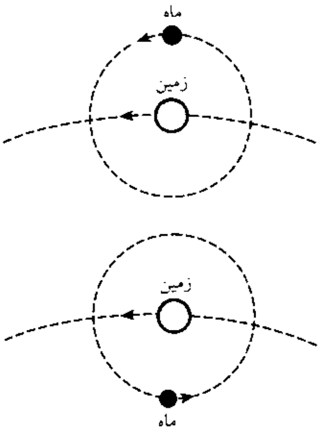
۱۳-۲۰ مسیر ماه به دور خورشید

ماه نسبت به زمین، بیضی صاف و همواری را با سرعتی که فقط اندکی نسبت به مقدار متوسط ۱ کیلومتر در ثانیه، تغییر می‌کند، می‌پیماید. ولی سرعت و مسیر ماه نسبت به خورشید کاملاً متفاوت است - مسیر آن موج‌دار و سرعتش متغیر است.

تقریباً در نیمی از مواقع ماه در بیرون مدار زمین قرار دارد و سرعت آن نسبت به خورشید حاصل جمع دو سرعت - و در حدود ۳۰ر۵ کیلومتر بر ثانیه است. در بقیهٔ مواقع ماه در داخل مدار زمین است. به شکل ۱۳-۲۰ نگاه کنید. سرعت ماه نسبت به خورشید در این مواقع تفاضل دو سرعت - و در حدود ۲۹ کیلومتر بر ثانیه است.

بنابراین به نظر می‌رسد که ماه متناوباً در مدار زمین پس و پیش می‌رود و سرعتش از حداکثر ۳۰ر۵ کیلومتر بر ثانیه تا حداقل ۲۹ کیلومتر بر ثانیه تغییر می‌کند.

شکل ۱۳-۲۰ مسیر ماه بر گرد خورشید. نیمی از اوقات ماه در بیرون مدار زمین است و هم جهت با زمین حرکت می‌کند. در بقیهٔ مواقع، ماه در داخل مدار زمین است و در جهت مخالف زمین حرکت می‌کند.

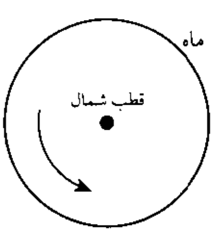


گوشزد: در واقع مسیر زمین نیز بر گرد خورشید، موج‌دار و سرعت آن متغیر است. به بیان دقیق *گرانیگاه منظومهٔ زمین و ماه*، بیضی همواری را به دور خورشید می‌پیماید و زمین و ماه هرکدام دوایری را حول این گرانیگاه طی می‌کنند. در نتیجه زمین نیز که گاهی در داخل بیضی‌ای است که گرانیگاه می‌پیماید و زمانی در بیرون آن، مسیری موج‌دار را با سرعتی متغیر طی می‌کند.

۱۳-۲۱ دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور

ماه، در عین آن که به دور زمین می‌گردد، حول محورش نیز دوران می‌کند. دورهٔ تناوب این دوران دقیقاً برابر است با دورهٔ تناوب گردش آن به دور زمین. ماه نسبت به ثوابت، یک دوران کامل را در ۲۷ر۳۲ روز انجام می‌دهد. جهت حرکت وضعی، مانند جهت حرکت انتقالی، برخلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت است. به شکل ۱۳-۲۱ نگاه کنید.

شکل ۱۳-۲۱ ناظری که از بالا به قطب شمال ماه نگاه کند، ماه را خواهد دید که در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به دور محورش می‌چرخد.



گوشزد: احتمالاً نیروی گرانشی زمین بر برآمدگی‌های وجهی از ماه که رو به زمین است، موجب شده است که این دو دورهٔ تناوب، دورهٔ تناوب چرخش و دورهٔ تناوب گردش به دور زمین، برابر شود و نیز ممکن است که این تغییر شکل سطح ماه بدواً به وسیلهٔ زمین پدید آمده و معلول نیروهای کشندی (جزرومدی) وارد بر ماه در زمانی باشد که ماه هنوز حالتی مایع یا شکل‌پذیر داشته است.

چون این دو دورهٔ تناوب باهم برابر اند، همیشه یک روی ماه به سمت زمین است وروی دیگر آن همواره پوشیده می‌ماند.

اگر (آ) سرعت چرخش همواره برابر با سرعت گردش و (ب) محور ماه

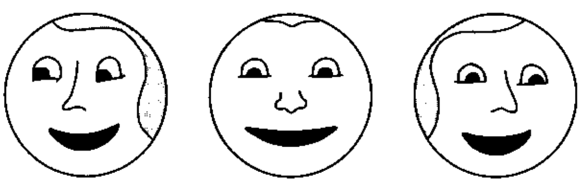
عمود بر مدار آن بود، آنگاه درست ۵۰ درصد از سطح ماه را می‌شد در همهٔ اوقات از زمین دید و مشاهدهٔ ۵۰ درصد دیگر هیچ وقت میسر نبود.

اما حرکت‌هایی کوچک (رُخ‌گرد) موجب می‌شود که این نسبت‌ها اندکی فرق کند. ۴۱ درصد از سطح ماه همواره رو به زمین است، ۴۱ درصد دیگر نیز هیچگاه مرئی نیست؛ ۱۸ درصد باقیمانده گاهی مرئی و گاهی ناپیدا است.

۲۲-۱۳ رُخ‌گرد

حرکات نوسانی بخشی از ماه که رو به زمین است، رُخ‌گرد نامیده می‌شود. سه نوع رُخ‌گرد وجود دارد: (آ) طولی، (ب) عرضی و (پ) روزانه. در نتیجهٔ رُخ‌گرد طولی، راصد نه تنها می‌تواند «صورت» ماه را ببیند، «گونه»هایش را هم می‌تواند مشاهده کند. بر اثر رُخ‌گردهای عرضی رأس «پیشانی» و زیر «چانهٔ» ماه متناوباً آشکار می‌شود. رُخ‌گردهای روزانه به مکان ناظر بر روی زمین بستگی دارد.

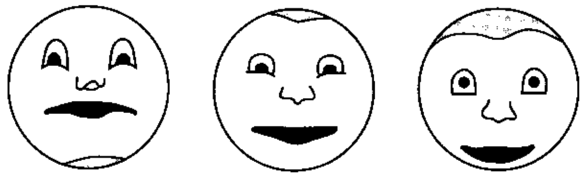
آ. رُخ‌گردهای طولی ماه معلول این واقعیت اند که چرخش ماه به دور محورش سرعت ثابتی دارد ولی سرعت حرکت آن بر گرد زمین متغیر است. چرخش گاه پیشاپیش و زمانی به دنبال حرکت انتقالی است و به این ترتیب موجب می‌شود که گونه‌های چپ و راست متناوباً دیده شوند. به شکل (آ) ۲۲-۱۳ نگاه کنید.



شکل (آ) ۲۲-۱۳ رُخ‌گرد طولی. در نتیجهٔ این حرکات نوسانی، می‌توانیم نه فقط «صورت» ماه بلکه «گونه‌های» راست و چپ آن را نیز به تناوب ببینیم.

ب. رُخ‌گردهای عرضی معلول زاویهٔ میل محور ماه با مدار آن است. محور ماه با خط قائم بر مدار ماه زاویهٔ $6^{\circ}/5$ می‌سازد. وقتی قطب ماه به سمت زمین مایل شود، ناظران زمینی می‌توانند تا $6^{\circ}/5$ فراسوی قطب شمال ماه را ببینند؛ دو هفته بعد $6^{\circ}/5$ فراتر از قطب جنوب ماه قابل رؤیت است. به شکل (ب) ۲۲-۱۳ نگاه کنید.

پ. رُخ‌گرد روزانه اثر کوچکی است که حداکثر آن 1° است. این اثر معلول این واقعیت است که ناظران زمینیِ بسیار دور از هم، نیمکره‌های اندک متفاوتی از ماه را می‌بینند.



شکل (ب) ۲۲-۱۳ رُخگرد عرضی. در نتیجهٔ مایل بودن محور ماه نسبت به مدار آن، می‌توان اندکی فراتر از قطب شمال و نیز اندکی فروتر از قطب جنوب ماه را رصد کرد. این مطلب در این شکل به این صورت نشان داده شده است که در یک دورهٔ دو هفته‌ای «بالای پیشانی» ماه دیده می‌شود و در دو هفتهٔ بعد «زیر چانه» او را می‌توان دید.

۲۳-۱۳ سطح ماه

حتی چشم بی‌سلاح نیز «علائمی» را بر «صورت» ماه می‌بیند که تلسکوپ معنی آن‌ها را روشن می‌سازد. سطح ماه پوشیده از (آ) دهانه‌ها، (ب) «دریاها» (پ) کوه‌ها، (ت) گنبدک‌ها، (ث) رودبسترها و (ج) رگه‌ها است.

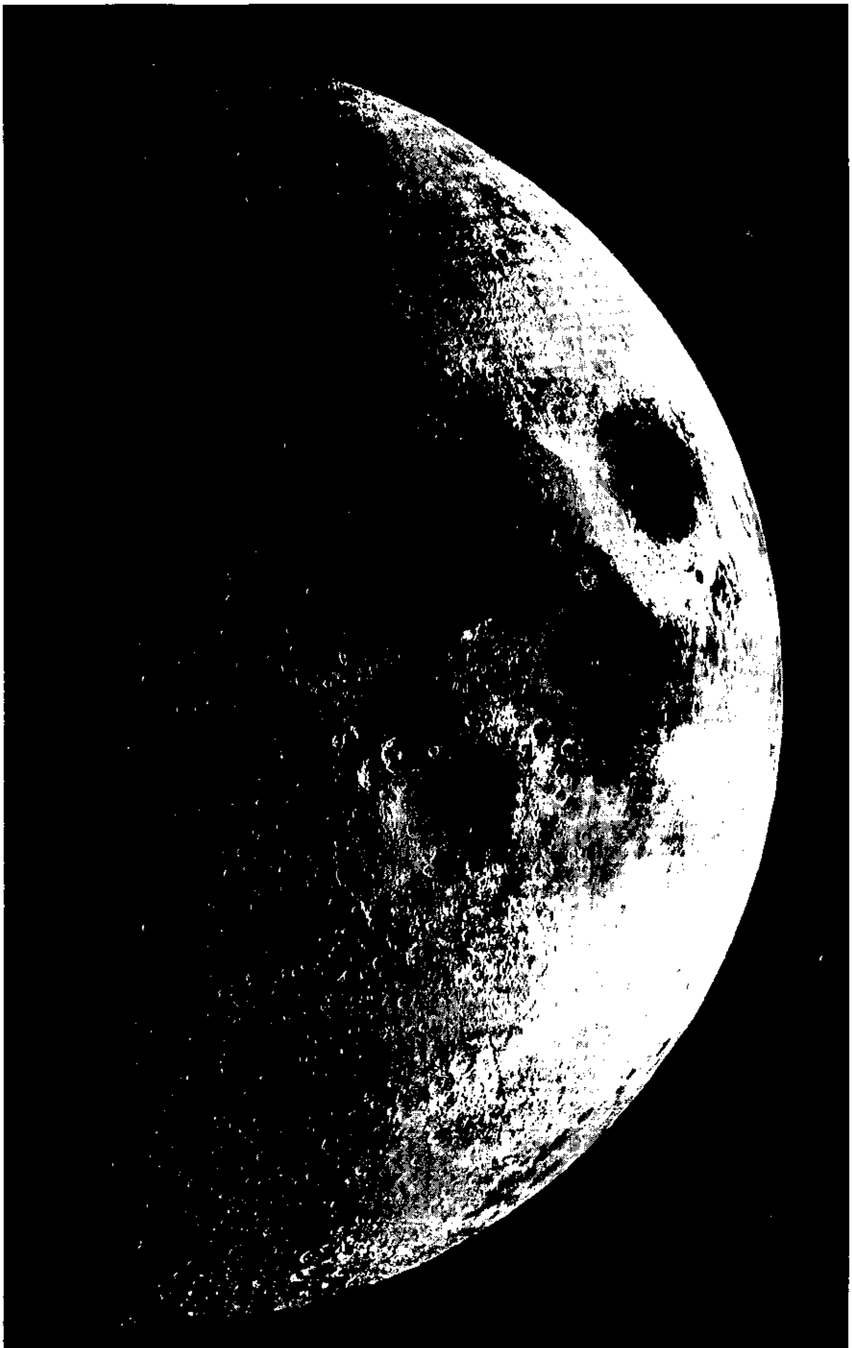
آ. دهانه‌ها. نشانه‌های برجستهٔ سطح ماه، حلقه کوه‌هایی هستند شبیه به دهانه‌های آتش‌فشان‌های زمینی. این حلقه کوه‌ها از حیث بزرگی با هم تفاوت بسیار دارند و قطر آن‌ها از ۲۴۰ کیلومتر تا کسری از متر است. ارتفاع کنارهٔ این دهانه‌ها نیز بسیار متغیر است. برخی از دهانه‌ها را دیوارهای بلندی به ارتفاع ۴ تا ٦ کیلومتر احاطه کرده است، حال آن که ارتفاع برخی دیگر در حدود نیم متر است. شمارهٔ دهانه‌هایی که شعاعشان بیش از ۵ر۱ کیلومتر است بالغ بر ۱۰۰،۰۰۰ می‌شود. این دهانه‌ها در سه چهارم سطح ماه، که پوشیده از نواحی ناهموار کوهستانی است و یک چهارم آن که توسط دریاها اشغال شده، دیده می‌شود. همچنین دهانه‌هایی وجود دارند که در داخل دهانه‌های دیگر اند.

محاسبات نشان می‌دهد که حجم خاکی که در کنارهٔ دهانه‌ها جمع آمده برابر با حجم چالهٔ دهانه است.

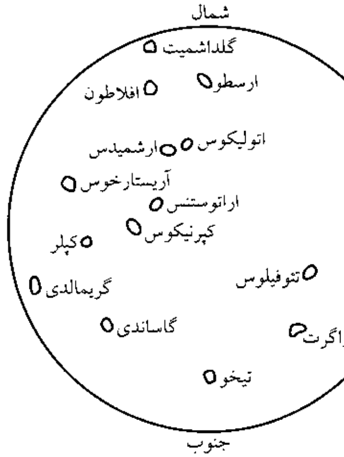
دهانه‌های بزرگ را به اسم دانشمندان و فیلسوفان برجسته نامیده‌اند. نام بعضی از دهانه‌های این سوی ماه و نیز آن سوی ماه در شکل‌های (آ) ۲۳-۱۳ و (ب) ۲۳-۱۳ آمده است. (آن سوی ماه، سویی است که از زمین قابل رؤیت نیست. نخستین بار، سفینهٔ فضایی شوروی، لونیک ۳، در ۱۹۵۹ از آن عکس گرفت).

منشاء دهانه‌های ماه هنوز موضوعی مورد بحث است. دو مکتب فکری در این مورد وجود دارد. یکی بر این نظر است که دهانه‌ها منشایی آتش‌فشانی دارند و دیگری آن‌ها را معلول برخورد شهاب‌سنگ‌های بزرگ می‌شمارد. این نظرها، به تفصیل بیشتر در بخش ۲۷-۱۳ مورد بحث قرار خواهد گرفت.

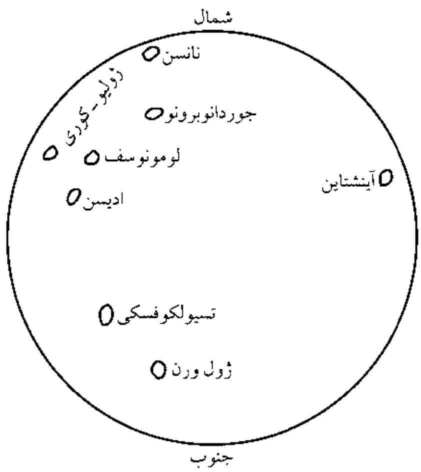
ب. دریاها. این نام (لاتینی آن Maria است) را گالیله در اوایل قرن



ماه در تربیع اول. دهانه‌ها و «دریاهای» سطح ماه به وضوح دیده می‌شود.



شکل (آ)۲۳-۱۳ دهانه‌های سطح نزدیک ماه. این دهانه‌ها را همیشه از روی زمین می‌توان دید.



شکل (ب)۲۳-۱۳ دهانه‌های سوی دیگر ماه. نخستین عکس‌های این دهانه‌ها در سال ۱۹۵۹ به وسیلهٔ سفینهٔ فضایی اتحاد شوروی، لونیک ۳ گرفته شد.

هفدهم به غلط بر ناحیه‌های تیره‌تر و هموارتر سطح ماه نهاد. به احتمال زیاد، آن‌ها زمانی دریاهایی بودند از گدازهٔ مذاب. در این صورت، دیر زمانی است که این گدازه‌ها سخت شده و پوستهٔ صلبی را به وجود آورده‌اند. تفاوت آن‌ها در حال حاضر با قسمت‌های دیگر سطح ماه در این است که نور را به میزان کمتری منعکس می‌کنند یعنی نسبت بازتاب‌شان کم است.

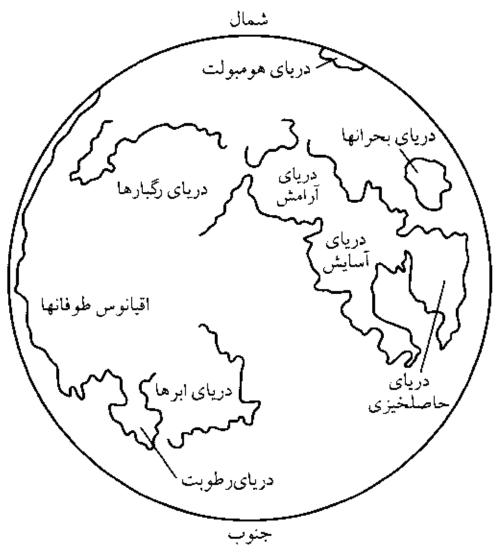
حد و مرز بسیاری از این دریاها مشخص شده و بر آن‌ها نامی نهاده شده است. نام برخی از آن‌ها چنین است. دریای بحران‌ها، دریای حاصلخیزی، دریای آرامش. به شکل (پ)۲۳-۱۳ نگاه کنید. این دریاها تقریباً گردند و همه، جز معدودی، با یکدیگر مرتبط اند. قطر این دریاها گاه بالغ بر صدها کیلومتر است.

پ. کوه‌ها. در سطح ماه تعداد زیادی سلسله کوه و نیز بسیاری قله‌های منفرد وجود دارد. برخی از این سلسله کوه‌ها را به همان اسم سلسله کوه‌های زمین نامیده‌اند (مثلاً آلپ، آپنین)؛ و بر برخی دیگر نام ریاضی‌دانان و منجمان بزرگ را نهاده‌اند (مثلاً لایب‌نیتس). ارتفاع برخی از کوه‌های ماه بیشتر از کوه‌های زمین است. بعضی از قله‌های سلسله جبال لایب‌نیتس که در نزدیکی قطب جنوب ماه قرار دارد، ارتفاعی بیش از قلهٔ اورست دارند که بلندترین قلهٔ روی زمین است.

ت. گنبدک‌ها. بر سطح ماه تعداد زیادی گنبدک وجود دارد. این گنبدک‌ها بی‌شباهت به کوه‌هایی بر سطح زمین نیستند که منشاء آتش‌فشانی دارند.

ث. رودبسترها. رودبسترها شکاف‌هایی طولانی بر سطح ماه اند. برخی باریک اند و بعضی دیگر عرضی بیش از یک‌ونیم کیلومتر دارند و نشانه‌های سطحی دیگر ماه را قطع می‌کنند و صدها کیلومتر ادامه می‌یابند.

ج. رگه‌ها. رگه‌هایی به رنگ روشن برسطح ماه وجوددارند که از چند دهانه بزرگ در همهٔ جهات منشعب می‌شوند. آنها را در حوالی ماه تمام بهتر از هر وقت دیگر می‌توان دید. ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر عرض آن‌هاست و در مواقعی نیز تا شعاع ۸۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر بر نشانه‌های سطحی دیگر می‌گسترند.



شکل (پ) ۲۳-۱۳ بعضی از دریاهای این سوی ماه، یعنی طرفی که رو به زمین است.

۲۴-۱۳ شتاب گرانش سطحی

شتاب گرانش سطحی ماه فقط یک ششم شتاب گرانش زمین است. این کمیت

را به‌آسانی می‌توان از روی ارقام شعاع و جرم ماه محاسبه کرد. بنابراین وزن هر جسم بر سطح ماه تنها یک ششم وزن آن بر سطح زمین است و جسمی که به هوا پرتاب شود در ماه شش برابر بیشتر بالا می‌رود تا در زمین.

نتیجهٔ مستقیم مقدار کم شتاب گرانش سطحی، مقدار کم سرعت گریز است که به نوبهٔ خود فقدان جو را در ماه توضیح می‌دهد. سرعت گریز در ماه برابر ۲٫۳۸ کیلومتر بر ثانیه است: بنابراین ذره‌ای از یک گاز که سرعت اولیهٔ آن ۲٫۳۸ کیلومتر بر ثانیه باشد می‌تواند از کشش گرانشی ماه بگریزد. چون ۲٫۳۸ کیلومتر بر ثانیه برای گازهای جوی در دماهای موجود در سطح ماه مقدار کاملاً متعارفی است، حتی اگر ماه زمانی دارای جو بوده، این جو مدت‌ها پیش از سطح آن گریخته است.

تحقیقات نیز فقدان جو را ثابت کرده‌اند. آزمایش‌هایی که در هنگام کسوف کلی انجام شده، به طور قطع و یقین نشان می‌دهد که اشعه‌ای از نور خورشید که مماس بر سطح ماه گذر کند، منکسر نمی‌شود. همچنین طیف نور ماه، همان طیف نور خورشید است، از این رو گازی در سطح ماه وجود ندارد.

۱۳-۲۵ دما

دامنهٔ تغییرات دما در سطح ماه بسیار زیاد است. این سطح به مدت دو هفتهٔ پیاپی در معرض اشعهٔ خورشید است و سپس برای مدتی به همین درازی آفتاب بر آن نمی‌تابد. اختلاف دما میان طرف روشن و سمت تاریک ماه در نتیجهٔ فقدان جو و کم بودن نسبت بازتاب، ۰٫۰۷، بسیار زیاد است.

اندازه‌گیری تابشی که از روی روشن ماه به زمین می‌رسد از دمایی حکایت می‌کند که بسیار بیش از نقطهٔ جوش آب (۱۰۰ °C) است. اندازه‌گیری‌هایی که از قسمت تاریک ماه به عمل آمده بر سرمایی شدید دلالت دارد. دمای سمت تاریک احتمالاً در حدود ۱۴۵- °C است.

گرمای خورشید چندان از سطح ماه به عمق آن نفوذ نمی‌کند. این مطلب از مطالعات مربوط به خسوف آشکار می‌شود. دمای سطح ماه بلافاصله پس از قطع شدن تابش خورشید، نزول می‌کند. تغییر دمایی در حدود ۵۰ °C در هر ساعت، عادی است. پس از آن که سطح قمر از تاریکی بیرون می‌آید، دما از این هم تندتر افزایش می‌یابد.

۱۳-۲۶ مطالعهٔ ماه در عصر فضا

عصر فضا چندین وسیلهٔ مهم را برای مطالعهٔ ماه در اختیار ما گذاشته است.

پیش از شروع این عصر، حتی در سال‌های دهۀ ۱۹۵۰، همۀ اطلاعاتی که دربارۀ ماه به دست می‌آمد بر تحلیل امواج مرئی، فروسرخ و رادیویی، یعنی نور آفتابی که ماه منعکس می‌کرد و اشعه‌ای که از ماه گسیل می‌شد و بازتاب امواج رادیویی گسیل شده از زمین، مبتنی بود.

بعضی از دستاوردهای تحقیقات مربوط به ماه در چند دهۀ اخیر، به ترتیب زمان، به این قرار است.

آ. اکتبر ۱۹۵۹. سفینۀ فضایی شوروی، لونیک ۳ [1]، برای نخستین بار از سوی دیگر ماه که از زمین مرئی نیست، عکس گرفت. معلوم شد که سوی دیگر ماه نیز همان مشخصات این سو را دارد با یک تفاوت که دریاهایش کمتر و اندازۀ آن‌ها کوچک‌تر است.

ب. ۱۹۶۴ و ۱۹۶۵. سفینه‌های فضایی آمریکایی رینجر [2] تا لحظۀ سقوط بر سطح ماه، عکس‌ها و تصویرهایی تلویزیونی از ماه ارسال کردند. این عکس‌ها به وضوح تمام جزئیات زیادی از سطح ماه را روشن ساخت.

پ. ۱۹۶۶ تا ۱۹۶۸. دنبالۀ سفینه‌های فضایی سرویور [3]، که آن‌ها نیز آمریکایی بودند، به نرمی بر سطح ماه نشستند و تصویرهایی از آن گرفتند و نیز به کمک یک دستگاه نمونه‌برداری خاک، خواص شیمیایی و فیزیکی سطح ماه را آزمایش کردند.

گوشزدها: این آزمایش‌ها به‌کشف‌های زیر منجر شد:
آ. سطح ماه می‌تواند وزن سفینه‌ای را تحمل کند.
ب. خاک ماه دانه دانه است و دانه‌ها از اندازه‌های مختلف اند.
پ. ذرات، کم و بیش مانند ماسۀ تر، به یکدیگر می‌چسبند.
ت. این خاک قابل تراکم و چگالی آن در حدود ۱٫۵ گرم بر سانتیمتر مکعب است.
ث. اجسام متعددی بر سطح ماه پراکنده‌اند. برخی از اینها سنگ‌های سخت اند و بعضی دیگر چون ضربه ببینند خرد می‌شوند.
ج. مواد سطح ماه از حیث شیمیایی شبیه بازالت خرد شده در سطح زمین اند (این نتیجه با استفاده از روشی آزمایشگاهی موسوم به پخش برگشتی ذرۀ آلفا به دست آمد).

ت. ۱۹۶۸ به بعد. سری سفینه‌های فضایی لونار آربیتر [4]، که بدواً برای

1- Lunik 3
2- Ranger
3- Surveyor
4- Lunar Orbiter

تهیه نقشهٔ عکاسی کامل سطح ماه طرح شده بود، در کشف (۱۹٦۸) فزونی کشش گرانشی در یکی از دریاهای بزرگ، مفید واقع شد. اکنون فرض می‌شود که در زیر هریک از دریاهای بزرگ، تراکم جرمی با چگالی زیاد وجود دارد.

* در ۱٦ ژوئیه سال ۱۹٦۹ نخستین سفینه سرنشین‌دار، مأموریت آپولو ۱۱، در نزدیکی دریای آرامش فرود آمد(نگاه کنید به بخش ۲۸-۱۳). مأموریت‌های باسرنشین آپولو ۱۱ تا آپولو ۱۷، علاوه بر داده‌های بسیار وسیع به صورت تصویر، نمونهٔ سنگ و خاک و اندازه‌گیری‌های محلی از ماه را به ارمغان آورد. *

مطالب زیر در زمرهٔ نتایجی است که از تحلیل این داده‌ها به دست آمده است.

آ. در همه جای ماه غبار وجود دارد و این غبار به هرکس و هر چیز می‌چسبد. عمق آن چندین سانتیمتر است. در زیر لایهٔ غبار، لایه‌ای است به عمق چند متر از سنگ‌های بزرگ شکسته موسوم به رگولیت و زیر این لایهٔ اخیر بستری سنگی جای دارد.

ب. برخی از سنگ‌هایی که بر سطح پراکنده‌اند منشأ آذرین دارند و احتمالاً در ۴ بیلیون سال پیش همراه با سرد شدن گدازه‌ها تشکیل شده‌اند. سنگ‌های دیگر از نوع بره‌کیا هستند، یعنی سنگ‌هایی که از تحت فشار قرار گرفتن و به هم چسبیدن قطعه سنگ‌های کوچک قدیمی‌تر، که ۵ر۴ بیلیون سال عمر دارند، تشکیل شده‌اند.

علاوه بر سنگ‌های آذرین و بره‌کیا، قطعاتی از شهاب‌سنگ‌های آهنی و ذرات شیشه یافته شده است.

پ. سنگ‌های ماه کم و بیش شبیه سنگ‌هایی است که در زمین ما از ماگما پدید آمده است. تفاوت قابل اعتنا این است که محتوی تیتانیوم سنگ‌های ماه به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیش از نظایر زمینی آن‌ها است.

ت. لرزه‌سنج‌هایی که بر سطح ماه کار گذاشته شده نشان دادند: (۱) لرزه (ماه‌لرزه) نسبتاً کم است و این دال بر آن است که ماه اکنون به صورت جامد درآمده و درون آن نسبتاً سرد است؛ (۲) لرزه‌های معدودی که لرزه‌سنج را متأثر کردند یا معلول آثار کشندی (جزر و مدی) زمین بودند (و زمانی روی دادند که ماه یا در نزدیک‌ترین و یا در دورترین فاصلهٔ خود از زمین بود) و یا در نتیجهٔ برخورد سفینه فضایی یا شهاب‌سنگ‌ها.

گردونهٔ فرود آپولو ۱۲، که پس از پیوستن فضانوردان به سفینهٔ اصلی، به

سطح ماه پرتاب شد، موجب گردید که ماه به مدت بیش از نیم ساعت با آهنگ یک سیکل در ثانیه نوسان کند. نوسان‌های مشابهی نیز از برخورد گردونهٔ فرود آپولو ۱۴ حاصل آمد. مهم‌ترین توضیحی که تاکنون داده شده این است که این ارتعاش‌ها، معلول این واقعیت اند که مواد تشکیل دهندهٔ ماه همگن نیستند و در نتیجه، امواجی که برخورد ایجاد می‌کند از مسیرهای مختلف و پس از گذشتن زمان‌های متفاوت به لرزه‌سنج می‌رسند.

ث. مغناطیس‌سنجی که به وسیلهٔ فضانوردان آپولو ۱۲ بر سطح ماه نصب شد، میدانی را ردیابی کرد که شدت آن کمتر از ۱ درصد شدت میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی استوا است. ممکن است که میدان مغناطیسی ماه به طور عمده معلول وجود شهاب‌سنگ‌های مغناطیده‌ای باشد که در سطح ماه پراکنده‌اند.

۱۳-۲۷ سرگذشت ماه

تا آنجا که می‌دانیم ماه نیز مانند زمین و خورشید، در حدود ۴٫۵ بیلیون سال پیش «زاده» شد. در آن زمان تودهٔ بزرگی از ابر گاز و غبار اولیهٔ منظومه، جدا شد و بر اثر نیروی گرانش شروع به انقباض و در نتیجه شروع به گرم شدن کرد. این توده انقباض یافت تا سرانجام به اندازه و شکل کنونی ماه رسید. شتاب گرانشی کم و دمای سطحی زیاد ماه موجب شد که گازهای سبک از سطح آن بگریزند.

* نظریه دیگری نیز در مورد پیدایش ماه ارائه شده است که منشاء آن را از زمین می‌داند. ۴ میلیارد سال پیش جرم عظیم سرگردانی با زمین برخورد کرد، قسمت بزرگی از پوسته زمین را کند و به فضا پرتاب کرد. بستر اقیانوس آرام دهانهٔ به جا مانده از این برخورد است. با گذشت زمان، گرانش توده پرتاب شده را به صورت کره‌ای درآورد، که ماه امروزی است. نبود هسته فلزی در ماه و شباهت عناصر ماه به غبار پوسته زمین از دلایل این نظریه است. *

گرمای حاصل از برخورد شهاب‌سنگ‌ها به سطح ماه جوان سبب شد که این کره به مایع بدل شود. سپس سطح ماه انجماد یافت و یک بیلیون سال بعد داخل آن نیز منجمد شد.

چنان که در بخش ۱۳-۲۳ اشاره شد، دو نظریه دربارهٔ تکوین پستی‌ها و بلندی‌های سطح ماه وجود دارد. نظریهٔ محتمل‌تر این است:

شهاب‌سنگ‌هایی که ماه در مسیر خود با آن‌ها برخورد کرده است موجد نشانه‌های سطحی ماه اند. بیشتر این شهاب‌سنگ‌ها، موجب پیدایش دهانه‌ها

شدند، ولی معدودی که خیلی بزرگ بودند توانستند در زمانی که داخل ماه هنوز سیال بود، در سطح ماه شکاف‌هایی ایجاد کنند و جریانی از گدازه را سبب شوند که سطح را پوشاند و همهٔ دهانه‌های دور و بر را محو کرد. مطالعات رادیواکتیوی سنگ آذرین دریای آرامش حاکی از آن است که این جریان گدازه‌ای در حدود ۷ر۳ بیلیون سال پیش روی داد.

از قرار معلوم در آن زمان شهاب سنگ بسیار بزرگی سطح ماه را شکافت و گدازهٔ جاری شده این دریا را به وجود آورد. دهانه‌هایی که اکنون در این دریا دیده می‌شود «جوان‌تر» از ۷ر۳ بیلیون سال اند.

شاید هم‌اکنون شهاب‌سنگ‌های بزرگی در زیر همهٔ دریاها وجود داشته و مسئول فزونی نیروی گرانشی باشند که در پرواز از فراز دریاها تجربه می‌شود.

چنین است زنجیرهٔ احتمالی رویدادهایی که چند بیلیون سال پیش به تکوین نشانه‌های سطحی ماه انجامیدند و جز دو مورد استثنا، این نشانه‌ها همان‌هایی هستند که هنوز هم وجود دارند. هیچ باد و بارانی فرسایش دهانه‌ها و دریاها را سبب نشده است. دو مورد استثنا عبارت اند از:

آ. احتمالاً هنوز هم فعالیت‌های آتشفشانی بسیار خفیفی در دل ماه وجود دارد. وجود گنبدک‌ها بر سطح ماه را به چنین فعالیت‌هایی منتسب می‌کنند.

ب. غبار و شکسته‌سنگ‌ها و قلوه‌سنگ‌هایی که بر سطح ماه دیده می‌شود معلول برخورد دایمی ماه در مسیر خود با شهابوارها و خرده شهابوارها است.

۱۳-۲۸ سفری به ماه

شش سفینهٔ آمریکایی باسرنشین آپولو بر سطح ماه فرود آمده‌اند؛ اولین آن‌ها (آپولو ۱۱) در ۱۶ ژوئیه ۱۹۶۹ و ششمی (آپولو ۱۷) در ۷ دسامبر ۱۹۷۲ پرتاب شدند. نقاط فرود تقریبی در شکل (آ) ۲۸-۱۳ نشان داده شده است. همه نقاط فرود در این سمت ماه قرار داشتند. (اگر سفینه‌ای فضایی بر سمت دیگر ماه فرود آید، به هیچ وجه نمی‌توان با آن ارتباط رادیویی برقرار کرد).

هریک از سفینه‌های آپولو، حامل هیأتی متشکل از سه سرنشین بودند، که دوتای آن‌ها عملاً بر سطح ماه فرود می‌آمدند و سومی مسئول هدایت سفینه در مدار استقرار بود.

سرنشینان آپولو ۱۱ عبارت بودند از نیل. آ. آرمسترانگ[1]، ادوین ا. آلدرین[2] و مایکل کالینز[3]. دو نفر اول نخستین آدمیانی بودند که بر سطح قمر

1- Niel A. Armstrong
2- Edwin E. Aldrin
3- Michael Collins

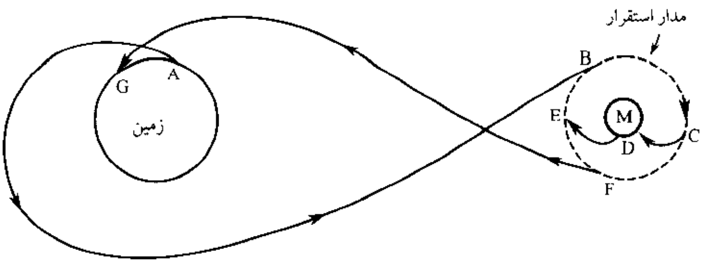


شکل (آ) ۲۸-۱۳ محل فرود سفینه‌های آپولو در سال‌های ۱۹۶۲-۱۹۷۲.

ما فرود آمدند [ساعت ۲۰:۴۷:۵ به وقت ایران در ۳۰ تیرماه ۱۳۴۸ (معادل با ساعت ۲۰:۱۷:۴ به وقت شرقی امریکا در ۲۹ ژوئیه ۱۹۶۹)].

درهمهٔ مأموریت‌های آپولو، سفینهٔ فضایی از سه قسمت اصلی تشکیل شده بود. گردونهٔ فرماندهی، گردونهٔ خدمات و گردونهٔ فرود بر ماه. یک موشک ساترن V سفینه را در سفرش به ماه، از زمین به فضا می‌برد.

سفر ماه از دو بخش تشکیل می‌شد: در پایان بخش نخست تمامی سفینه در مداری مستدیر در حدود ۱۱۰ کیلومتری سطح ماه قرار داده می‌شد. در بخش دوم دو تن از سرنشینان با استفاده از گردونهٔ فرود بر سطح ماه فرود می‌آمدند. به شکل (ب) ۲۸-۱۳ نگاه کنید.



شکل (ب) ۲۸-۱۳ سفر به ماه (به مقیاس رسم نشده است). A خیز از سطح زمین. B ورود به مدار استقرار. C گردونهٔ فرود از گردونهٔ فرماندهی جدا می‌شود. D فرود بر سطح ماه، E گردونهٔ فرود به گردونهٔ فرماندهی متصل می‌شود. F سفینهٔ فضایی مدار استقرار را ترک می‌کند. G سقوط بر سطح زمین.

گردونهٔ فرماندهی، به ارتفاع ۳ر۳ متر و قطر قاعدهٔ ۴ متر و به وزن بیش از ۵ تن به هنگام سفر رفت و برگشت، برای سه فضانورد «خانه‌ای در غربت» بود

و مرکز ارتباطات به شمار می‌رفت. چون تنها گردونه‌ای بود که به زمین بازمی‌گشت، دارای حفاظ گرمایی بود تا از گرمای ایجاد شده در هنگام ورود مجدد به جو زمین از آن حفاظت کند.

گردونهٔ خدمات، طولی برابر ۷ متر و قطری برابر ۴ متر و وزنی معادل ۲۶ تن داشت و حاوی موتورهای موشک و سوختی بود که برای ورود و خروج از مدار استقرار دور ماه و تصحیحات جزئی مسیر در فضا مورد نیاز بود. این گردونه، وقتی که گردونهٔ فرماندهی در مدار درست برای فرودآمدن به زمین قرار می‌گرفت، جدا می‌شد (و در جو زمین می‌سوخت).

گردونهٔ فرود، به ارتفاع ۶ متر و قطر ۴ متر و وزن بیش از ۱۵ تن ۷ برای حمل دو تن از سرنشینان از مدار استقرار به ماه و بازگشت آن‌ها به گردونهٔ فرماندهی طرح شده بود. در این گردونه وسایل هدایت و ابزار الکترونیکی و نیز دو دستگاه موتور و مخازن سوخت وجود داشت. یکی از موتورها برای کاستن سرعت و فرود آرام بر سطح ماه طرح شده بود و موتور دیگر برای بلند کردن گردونه از سطح ماه و بازگشت به سفینهٔ اصلی. گردونهٔ فرود، پس از آن که وظیفه‌اش به پایان می‌رسید، جدا می‌شد و یا برای همیشه در مداری به دور ماه می‌گشت و یا آن که بر سطح ماه ساقط می‌شد تا بتوان اثر برخورد آن را بر لرزه‌سنج‌هایی که بر سطح ماه قرار داده شده بود، مطالعه کرد.

موشک ساترن V که مخصوص برنامهٔ آپولو طرح شده بود ارتفاعی بیش از ۹۰ متر و وزنی (با سوخت) در حدود ۳۰۰۰ تن داشت و در ۵ر۲ دقیقهٔ اول پرواز بیش از ۲۰۰۰ تن نفت و اکسیژن مایع را به مصرف می‌رساند.

۲۹-۱۳ حیات بر روی ماه

ماه صحرای خشک لم‌یزرعی است. نه جو دارد، نه آب مایع، نه گیاه و نه حیات حیوانی.

فقدان آب همچنین دال بر فقدان ابر در آسمان و نیز فقدان غباری است که از فرسایش آب و باد به وجود می‌آید.

بدون جو، انتقال صوت و در نتیجه صحبت کردن امکان‌پذیر نیست، فلق و شفقی وجود ندارد، طلوع و غروب خورشید ناگهانی است. وقتی جو نباشد آسمان، آبی نیست بلکه سیاه به نظر می‌رسد. خورشید فقط دایره‌ای از نور است و زمین در آسمان ماه چون کرهٔ رنگارنگی به چشم می‌آید.

* با آن که نشانی از حیات بر ماه نیست، نشانه‌هایی از آب یخ زده در این

قمر دیده شده است. دو مدارگرد کلمنتین [1] و لوناریراسپکتور [2] در سال‌های ۱۹۹۰ نشانه‌هایی دال بر وجود یخ آب در گودال‌های قطبی ماه یافتند. بستر این گودال‌ها همیشه در سایه اند و خورشید هرگز بر آن نمی‌تابد. گفته می‌شود که این یخ‌ها بازمانده دنباله‌دارهایی اند که در گذشته‌ای دور با ماه برخورد کرده‌اند. شاید این یخ آب در سفرهای آینده بشر به ماه و اقامت دراز مدت او بر این کره به کار آید. *

1- Clementine
2- Lunar Prospector

فصل ۱۴

کسوف و خسوف

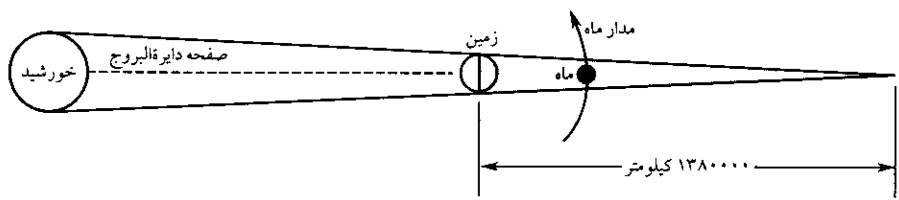
۱-۱۴ مقدمه

آ. خسوف (ماه گرفتگی). زمین در حرکت مداری خود به دور خورشید سایه‌اش را، که در فضا در سمتی مخالف خورشید ممتد است، به دنبال می‌کشد.

سایهٔ زمین به شکل یک مخروط است که قاعدهٔ آن مقطع زمین و طول متوسط آن ۱،۳۸۰،۰۰۰ کیلومتر است. طول این سایه، بر اثر تغییر فاصلهٔ زمین از خورشید، تا حدود ۴۰،۰۰۰ کیلومتر نسبت به مقدار متوسط تغییر می‌کند.

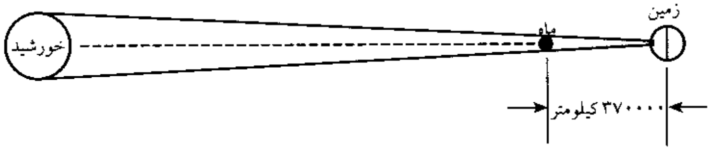
خسوف زمانی اتفاق می‌افتد که ماه وارد مخروط سایهٔ زمین شود. به شکل (آ) ۱-۱۴ نگاه کنید.

شکل (آ) ۱-۱۴ خسوف. خسوف زمانی روی می‌دهد که ماه در داخل مخروط سایهٔ زمین قرار گیرد. خسوف را می‌توان از هر نقطه از نیمکرهٔ شب زمین مشاهده کرد.



ب. کسوف (خورشیدگرفتگی). ماه نیز در حرکت مداری خود به دور زمین سایه‌اش را به دوش می‌کشد. این سایه نیز به شکل مخروط است. ولی مخروط سایهٔ ماه، با قاعده‌ای به قطر فقط ۳۴۶۰ کیلومتر، بسیار باریک‌تر از مخروط سایهٔ زمین است. طول سایهٔ ماه به طور متوسط برابر ۳۷۱،۰۰۰ کیلومتر است و حول این مقدار متوسط به اندازهٔ ۶،۵۰۰ کیلومتر تغییر می‌کند. به شکل (ب) ۱-۱۴ نگاه کنید.

این سایه در اغلب موارد به قدر کافی طویل نیست که به زمین برسد. فاصلهٔ



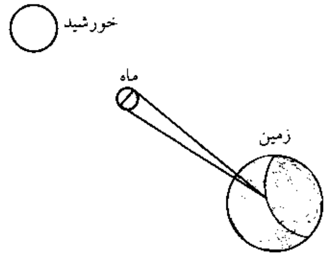
شکل (ب) ۱-۱۴ کسوف. کسوف کلی خورشید را ناظرانی بر روی زمین می‌توانند دید که بر نقاط تماس مخروط سایهٔ ماه با سطح زمین واقع اند. وقتی که مخروط سایه کاملاً به زمین نمی‌رسد، کسوف حلقوی روی می‌دهد.

ماه تا زمین از ۳۶۰،۰۰۰ کیلومتر در حضیض تا ۴۰۰،۰۰۰ کیلومتر در اوج زمینی تغییر می‌کند. فاصلهٔ متوسط برابر ۳۸۰،۰۰۰ کیلومتر است. به شکل (پ) ۱-۱۴ نگاه کنید.

کسوف زمانی روی می‌دهد که سطح زمین بخشی از مخروط سایه ماه را قطع کند.

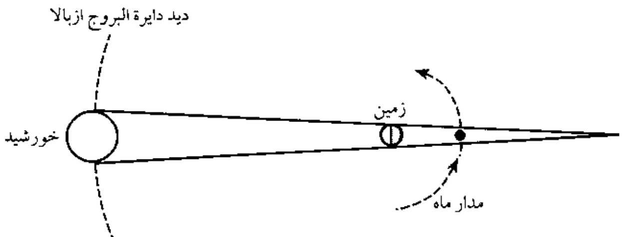
وقتی که مخروط سایه کاملاً به سطح زمین نمی‌رسد، پدیده‌ای روی می‌دهد که به کسوف حلقوی موسوم است. در این شرایط مقطع ظاهری ماه نمی‌تواند مقطع ظاهری خورشید را بپوشاند و ناظر «نواحی بیرونی» خورشید را به صورت حلقهٔ درخشانی می‌بیند.

شکل (پ) ۱-۱۴ کسوف کلی را تنها ناظرانی بر سطح زمین می‌توانند ببینند که بر قوسی که مخروط ناقص سایهٔ ماه می‌پیماید، واقع اند.



۲-۱۴ شرایط وقوع خسوف

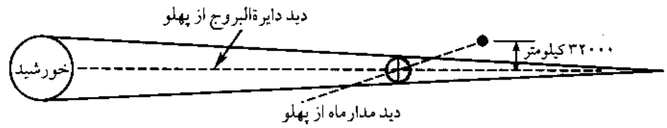
چون از بالا به دایرةالبروج بنگریم به اشتباه گمان می‌کنیم که خسوف باید ماهی یک بار واقع شود. این دید از بالا در شکل (آ) ۲-۱۴ نشان داده شده است. در این شکل دایرةالبروج، مدار ظاهری خورشید به دور زمین، با خط چین در سمت چپ نشان داده شده است و مدار ماه به دور زمین به صورت پیکان‌هایی در سمت راست.



شکل (آ) ۲-۱۴ دایرةالبروج از بالا، چون از بالا به مدار ظاهری خورشید و مدار ماه نگاه کنیم، این تصور غلط برای ما پیش می‌آید که خسوف هر ماه یک بار واقع می‌شود.

خطای این دید وقتی آشکار می‌شود که از پهلو نگاه کنیم. آنگاه روشن می‌شود که این سه جرم در حقیقت بر یک خط واقع نیستند.

ماه در نتیجهٔ میل مدارش با دایرةالبروج، می‌تواند از بالا یا پایین مخروط سایه، به فاصله‌ای که حداکثر ۳۲،۰۰۰ کیلومتر می‌شود، بگذرد. به شکل (ب) ۲-۱۴ نگاه کنید. عدهٔ دفعاتی که ماه مخروط سایه را قطع می‌کند، کسر کوچکی از تعداددفعاتی است که از بالا یا از زیر آن می‌گذرد. در سال ۱۹۷۶ ماه حتی یکبار هم از میان مخروط سایه عبور نکرد. ولی در سال ۱۹۸۲ سه بار از آن گذشت.



شکل (ب) ۲-۱۴ دایرةالبروج از پهلو. این دید روشن می‌سازد که ماه به راستی با خورشید و زمین بر یک امتداد نیست. ماه، در مدار مایل خود، ممکن است تا ۳۲،۰۰۰ کیلومتر از بالا یا پایین مخروط سایه بگذرد.

برای آن که خسوف واقع شود باید دو شرط مهم زیر هم‌زمان با یکدیگر برقرار باشند:

شرط ۱. خورشید، زمین و ماه، چون از بالا نظر شود، باید بر خطی مستقیم واقع باشند - یعنی ماه به حالت بدر از زمین دیده شود. این واقعه ماهی یک بار روی می‌دهد.

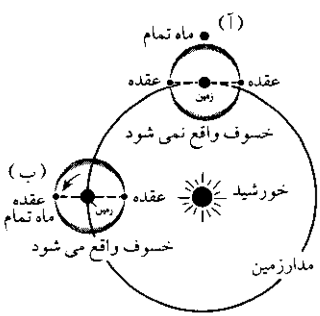
شرط ۲. ماه در حرکت مداریش بایددر حال عبور از دایرةالبروج، یعنی در یکی از عقده‌ها باشد.

پیش‌تر دیده شد که کرهٔ ماه نیمی از یک ماه را در زیر صفحهٔ دایرةالبروج به سر می‌آورد و نیم دیگر را در بالای آن. دو نقطه‌ای که در آن‌ها ماه صفحهٔ دایرةالبروج را قطع می‌کند عقدتین نامیده می‌شود: یکی از این دو عقدهٔ رأس (گره شمالی) است و دیگری عقدهٔ ذنب (گره جنوبی). خط واصل این دونقطه را خط عقده‌ها یا خط گره‌ها نامند.

شکل (پ) ۲-۱۴ دو وضعیت ماه را که در آن‌ها شرط ۱ برقرار است نشان می‌دهد. ماه در هر دو نقطهٔ (آ) و (ب) به حالت بدر است.

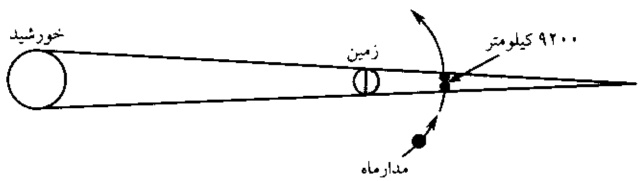
در نقطهٔ (آ) خسوف واقع نشده است؛ ماه بر مدار خود، بر بالای دایرةالبروج قرار دارد. در نقطهٔ (ب) خسوف واقع شده است زیرا ماهِ تمام، زمانی روی می‌دهد که ماه در یکی از عقدتین است.

شکل (پ) ۲-۱۴ شرایط وقوع خسوف. ماه در هر دو وضعیت (آ) و (ب) در بدر است. در (آ) خسوف واقع نمی‌شود زیرا ماه کاملاً بر بالای دایرةالبروج است و از بالای مخروط سایهٔ زمین می‌گذرد. در (ب) خسوف واقع می‌شود. زیرا ماه در صفحهٔ دایرةالبروج قرار دارد و باید از میان سایهٔ زمین بگذرد.



۳-۱۴ مدت خسوف

مدت دوام خسوف نسبتاً زیاد است، زیرا قطر مخروط سایهٔ زمین در نقطه‌ای که ماه از آن می‌گذرد در حدود ۹،۲۰۰ کیلومتر است. اگر ماه مخروط را به طور مرکزی قطع کند، نزدیک به دو ساعت در خسوف کامل خواهد بود، زیرا قطر ماه در حدود ۳،۵۰۰ کیلومتر و سرعت متوسط آن ۳،۲۰۰ کیلومتر در ساعت است. به شکل ۳-۱۴ نگاه کنید.



شکل ۳-۱۴ مدت دوام خسوف. نزدیک به یک ساعت طول می‌کشد تا ماه وارد سایه شود. اگر ماه از مرکز سایه بگذرد خسوف کامل نزدیک به دو ساعت دوام می‌آورد. بیرون آمدن ماه از خسوف نیز یک ساعت طول می‌کشد.

سایهٔ زمین ماه را کاملاً تاریک نمی‌کند. حتی وقتی که خسوف، کامل باشد ماه کاملاً مرئی است ولی رنگ سرخ بی‌فروغی جای درخشش عادی آن را می‌گیرد. این فروغ مختصر معلول نور خورشید است که از جو زمین به داخل مخروط سایه شکسته شده است. اجزای آبی و بنفش نور آفتاب بر اثر پراکندگی از جو زمین، حذف شده‌اند و مؤلفه‌های سرخ نور اند که قرص ماه را اندکی روشن می‌کنند.

۴-۱۴ خسوف جزئی

در خسوف جزئی فقط قسمتی از ماه از میان مخروط سایه می‌گذرد. به این ترتیب به هنگام ماه تمام، بریدگی تیره‌ای در بخش شمالی و یا در بخش جنوبی آن پدیدار می‌شود.

البته خسوف‌های جزئی هم بعد و هم پیش از خسوف کلی واقع می‌شوند. در حدود نیم ساعت طول می‌کشد تا ماه کاملاً وارد سایه شود و مدت مشابهی نیز لازم است تا کاملاً از سایه به در آید.

۵-۱۴ دنبالهٔ خسوف‌ها

خسوف‌ها به ترتیب و در چند دنباله روی می‌دهند. یک دنبالهٔ کامل که شامل ۴۸ یا ۴۹ خسوف می‌شود، ۸٦۵ سال طول می‌کشد. فاصلهٔ زمانی بین دو خسوف متوالی در یک دنباله $\frac{1}{3}$ ٦،۵۸۵ روز است. خسوف‌های متوالی شباهت زیادی به هم دارند که دال بر تعلق‌شان به یک دنباله است.

روش به دست آوردن عدد $\frac{1}{3}$ ٦،۵۸۵ روز بدین قرار است:

برای آن که خسوفی تکرار شود:

آ. ماه باید در حالت بدر باشد. این وضعیت هر ۲۹ر۵۳۰۵۹ روز یک بار تکرار می‌شود.

ب. خورشید باید نسبت به عقده‌ها در همان مکان قبلی باشد، و این هر ۳۴۶ر۶۲۰۱ روز تکرار می‌گردد.

کوچک‌ترین مضرب مشترک این اعداد، ۶،۵۸۵ است یعنی هر ۶،۵۸۵ روز (یا دقیق‌تر هر $\frac{1}{3}$ ۶۵۸۵ روز) ماه، زمین و خورشید وضعیت خسوف قبلی را تکرار می‌کنند. فاصلهٔ $\frac{1}{3}$ ۶۵۸۵ روز به یک ساروس موسوم است که در زبان بابلی قدیم به معنی «تکرار» است.

دنباله‌های خسوفی بسیاری به طور همزمان در جریان است. در حال حاضر بیست و هشت دنبالهٔ خسوفی در جریان وقوع است. از این رو است که گاه تا سه خسوف در یک سال ممکن است روی دهد. سه خسوف، حداکثرِ ممکن است و البته حداقلِ آن صفر است.

تاریخ خسوف‌هایی که در آیندهٔ نزدیک روی خواهند داد عبارت است از: اسفند ۱۳۸۵ (۳ مارس ۲۰۰۷)، مرداد ۱۳۸۶ (۲۸ اوت ۲۰۰۷)، بهمن ۱۳۸۶ (۲۱ فوریه ۲۰۰۸) و آذر ۱۳۸۹ (۲۱ دسامبر ۲۰۱۰).

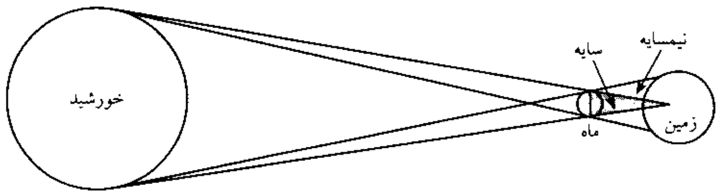
۱۴-۶ کسوف

کسوف از چند لحاظِ مهم با خسوف فرق دارد:

آ. کسوف فقط می‌تواند به هنگام ماه نو واقع شود؛ خسوف تنها به هنگام بدر.

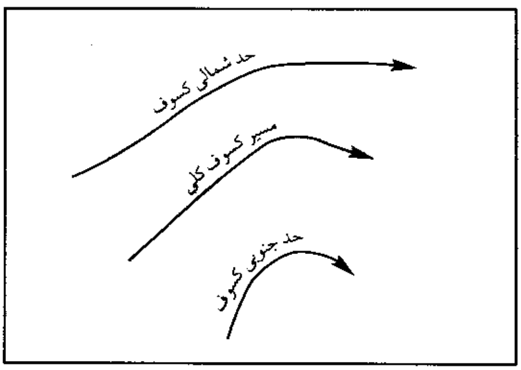
ب. همهٔ خسوف‌ها را، خواه جزئی و خواه کلی، می‌توان در آن واحد از هر نقطهٔ نیمکره‌ای از زمین که به جانب ماه است، مشاهده کرد. ولی در کسوف تنها باریک‌ترین قسمت مخروط سایه‌ای که ماه می‌سازد، با زمین تماس حاصل می‌کند. حداکثر قطر دایره‌ای از مخروط که به وسیلهٔ سطح زمین قطع می‌شود، کمتر از ۲۷۴ کیلومتر است. ولی نیمسایه قطر بسیار بزرگ‌تری نزدیک به ۶۴۰۰ کیلومتر، بر سطح زمین تشکیل می‌دهد.

مخروط سایه را معمولاً سایه می‌نامند و منطقهٔ روشن‌تر در شکل (آ) ۱۴-۶ نیمسایه نامیده می‌شود. راصدانی که در نیمسایه اند فقط کسوفی جزئی را مشاهده می‌کنند. درصدی از سطح خورشید که گرفته می‌شود به فاصلهٔ راصد از سایه بستگی دارد- هرچه نزدیک‌تر باشد این درصد بیشتر است.



شکل (آ)٦-۱۴ سایه و نیمسایه، مخروط تیره‌تر سایه است. ناظرانی که روی زمین در محل این مخروط قرار دارند، کسوف کلی را خواهند دید. ناحیهٔ نیم تاریک کنار مخروط سایه، نیمسایه است. ناظرانی زمینی که در آن نقاط قرار دارند کسوف جزیی را مشاهده خواهند کرد.

با حرکت ماه و مخروط سایهٔ آن در مدارهای تعیین شده، دایرهٔ کوچک سایه و دایرهٔ نیمسایه حرکت می‌کنند. مسیر نمونه‌ای که کسوف می‌پیماید در شکل (ب) ٦-۱۴ نموده شده است.



شکل (ب)٦-۱۴ مسیر یک کسوف کلی. عرض منطقهٔ کسوف کلی کمتر از ۱٦۰ کیلومتر است. حدود شمالی و جنوبی، منطقه‌ای را مشخص می‌کنند که از آن مشاهدهٔ کسوف میسر است. پیکان‌ها امتداد مسیر حرکت کسوف را بر روی زمین نشان می‌دهند.

این شکل از فهرست نجومی رصدخانهٔ نیروی دریایی آمریکا موسوم به American Ephemeris and Nautical Almanac اخذ شده است.

مخروط سایهٔ ماه، در نزدیکی ساحل غربی آمریکای جنوبی با زمین تماس حاصل می‌کند. سپس به سمت مشرق حرکت کرده، $3\frac{1}{4}$ ساعت بعد در نزدیکی ساحل شرقی آفریقا زمین را ترک می‌گوید. عرض نوار کسوف کلی در این مورد کمتر از ۱٦۰ کیلومتر است. سرعت سایه بر روی زمین تا حد زیادی بستگی به عرض جغرافیایی و زاویه‌ای که مخروط سایه با سطح زمین می‌سازد دارد. در استوا این سرعت ممکن است فقط ۱٦۰۰ کیلومتر در ساعت باشد. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، خاصه در نزدیکی طلوع و غروب خورشید که مخروط سایه کاملاً مایل است، این سرعت ممکن است به ۸،۰۰۰ کیلومتر در ساعت نیز برسد.

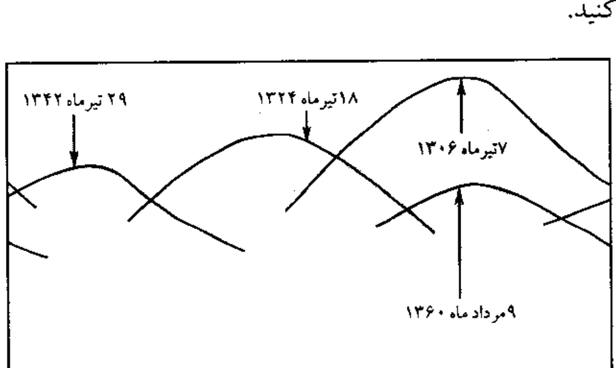
پ. مدت دوام یک خسوف کلی در حدود ۲ ساعت است، ولی حداکثر مدت دوام یک کسوف کلی در هر نقطه از سطح زمین ۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه است.

۷-۱۴ دنبالهٔ کسوف‌ها

کسوف‌ها نیز به صورت دنباله‌هایی چند، واقع می‌شوند و هر دنبالهٔ کامل مشتمل بر هفتاد یا هفتادویک کسوف است و در حدود ۱،۲۶۰ سال طول می‌کشد. دورهٔ تناوب ۶،۵۸۵$\frac{1}{3}$ روز، بین هر دو گرفت متوالی در یک دنباله، در هر دو مورد خسوف و کسوف یکی است.

هفتاد یا هفتادویک کسوف هر دنبالهٔ خورشیدی، الگویی را دنبال می‌کنند. نخستین کسوف هر دنباله همواره کسوف جزئی بسیار کوچکی است در نزدیکی یکی از قطب‌های زمین. کسوف‌های بعدی که به ترتیب کمتر جزئی اند دورتر از قطب واقع می‌شوند. کسوف‌هایی که در وسط دنباله روی می‌دهند از نوع «کسوف کلی» اند. مسیر آن‌ها بر سطح زمین دورتر و دورتر از قطبی است که دنباله نخست از آن آغاز شده است. چون به آخر دنباله نزدیک‌تر می‌شویم، کسوف‌ها پیوسته جزئی‌تر می‌شوند و آخرین کسوف در نزدیکی قطب مخالف واقع می‌شود.

در نتیجهٔ زمانی که با رقم کسری عدد ۶،۵۸۵$\frac{1}{3}$ مشخص می‌شود، هر عضو دنباله، اندکی در مغرب عضو پیشین ظهور می‌کند. اختلاف طول جغرافیایی نزدیک به ۱۲۰ درجه است زیرا زمین در این مدت، $\frac{1}{3}$ دور حول محورش چرخیده است. بعد از سه کسوف، آغاز مسیر به طول جغرافیایی اولیه بازمی‌گردد. عرض جغرافیایی بسته به آن که دنبالهٔ نخست از قطب شمال یا قطب جنوب آغاز شده، هرچه جنوبی‌تر یا شمالی‌تر می‌شود. به شکل ۷-۱۴ نگاه کنید.



شکل ۷-۱۴ چهار عضو یک دنبالهٔ کسوفی.
گوشزد: (آ) زمان بین دو کسوف متوالی در یک دنباله تقریباً ۱۸ سال (۶۵۸۵ $\frac{1}{3}$ روز) است.
(ب) هر عضو به اندازهٔ $\frac{1}{3}$ دور در غرب کسوف قبلی جای دارد.
(پ) اگر دنباله در قطب شمال آغاز گردد، اعضای بعدی به ترتیب جنوبی‌تر و جنوبی‌تر می‌شوند.

لزومی ندارد که در حدود ۱۸ سال (۶،۵۸۵ ⅓ روز) به انتظار نشست تا کسوفی را دید؛ در حال حاضر یازده دنبالهٔ خورشیدی در جریان وقوع است. دو دنباله که به شماره‌های ۶ و ۷ موسوم اند کسوف‌هایی را موجب می‌شوند که مدت دوام‌شان مخصوصاً زیاد است. دنبالهٔ ۵ شایسته توجه است زیرا مسیر آن بر نقاطی واقع است که به آسانی در دسترس اند و مدت دوام آن‌ها متوسط (۲ر۵ دقیقه) است.

حداقل تعداد کسوف در سال دو است وحداکثر آن پنج.

۸-۱۴ فهرست کسوف‌ها

تئودور اوپولتسر[1] منجم اتریشی (۱۸۸۶-۱۸۴۱) فهرستی منتشر کرد که در آن شرح تفصیلی نزدیک به ۸،۰۰۰ کسوف و ۵،۲۰۰ خسوف از ۱۲۰۷ پیش از میلاد تا ۲۱۶۲ بعد از میلاد آمده است؛ مسیر همهٔ کسوف‌ها در ۱۶۰ نقشهٔ این فهرست نشان داده شده است. برخی از کسوف‌های دراز مدت و میان‌مدت پانزده سال آینده در جدول زیر آمده است.

* جدول ۸-۱۴ کسوف‌های کلی تا سال ۲۰۲۰ میلادی

تاریخ	محل‌های رؤیت	مدت دوام (بر حسب دقیقه)
۶ فروردین ۱۳۸۵ (۲۹ مارس ۲۰۰۶)	آمریکای جنوبی، آفریقای‌مرکزی، لیبی، مصر، ترکیه، روسیه	۴
مرداد ۱۳۸۷ (۱ اوت ۲۰۰۸)	کانادا، گروئنلند، روسیه، مغولستان، چین	۲
تیر ۱۳۸۸ (۲۲ ژوئیه ۲۰۰۹)	هند، چین، اقیانوس آرام	۶
تیر ۱۳۸۹ (۱۱ ژوئیه ۲۰۱۰)	اقیانوس آرام، شیلی، آرژانتین	۵ر
آبان ۱۳۹۱ (۱۳ نوامبر ۲۰۱۲)	استرالیا، اقیانوس آرام	۴
اسفند ۱۳۹۳ (۲۰ مارس ۲۰۱۵)	اقیانوس اطلس، شمالگان	۲
اسفند ۱۳۹۴ (۹ مارس ۲۰۱۶)	سنگاپور، اندونزی، اقیانوس آرام	۴
مرداد ۱۳۹۶ (۲۱ اوت ۲۰۱۷)	اقیانوس آرام، ایالات متحده، اقیانوس اطلس	۲
تیر ۱۳۸۹ (۲ ژوئیه ۲۰۱۹)	اقیانوس آرام، شیلی، آرژانتین	۴
آذر ۱۳۹۸ (۱۴ دسامبر ۲۰۲۰)	اقیانوس آرام، شیلی، آرژانتین، اقیانوس اطلس	۲

زمان هر کسوف را می‌توان با دقت کمتر از ۲ ثانیه و مسیر آن را با دقت کمتر از نیم کیلومتر پیش‌بینی کرد. این پیش‌بینی بر محاسبات پیچیده‌ای که

1- Theodor Oppolzer

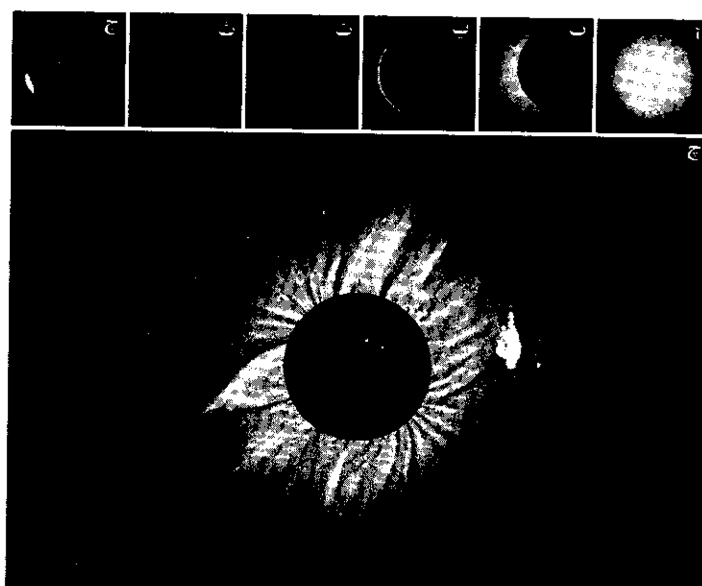
مواضع و حرکات ماه و خورشید در آن‌ها وارد می‌شود مبتنی است.

* امروزه منجمان به کمک رایانه مشخصات کسوف‌ها و خسوف‌ها را تا سال ۴۰۰۰ بعد از میلاد پیش‌بینی کرده‌اند.*

۹-۱۴ شرح یک کسوف کلی

کسوف کلی خورشید، از نظر بسیاری از مردم چه چیزها که به شمار نمی‌رود! برای مردمان بدوی و خرافاتی کسوف موجب ترس و حیرت بسیار است. چه بسا جنگ‌ها که در نتیجهٔ کسوف متوقف شده‌اند و به امضای پیمان‌های صلح انجامیده‌اند. اما نزد بیشتر ما کسوف کلی خورشید صرفاً منظره‌ای زیبا و با عظمت است. به‌علاوه اهل علم از آن رو به کسوف توجه دارند که مشاهدات با اهمیتی را تنها در چند دقیقه‌ای که کسوف کلی دوام می‌آورد می‌توانند انجام دهند و بنابراین از این سوی دنیا به سوی دیگر می‌روند تا پدیدهٔ کسوف کلی را مشاهده کنند.

نمای تاریک ماه، چهرهٔ خورشید را از غرب به شرق می‌پیماید و بخش غربی آن را بیشتر و بیشتر می‌پوشاند. چندین مرحله با اهمیت را می‌توان مشاهده کرد:



شکل ۹-۱۴

نخستین تماس را تنها با نگاه کردن به خورشید از ورای شیشهٔ دود زده یا فیلم سیاه شدهٔ عکاسی و یا به کمک فیلترهای مخصوص می‌توان مشاهده کرد.

به (آ) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

هر چه کنارهٔ سیاه شدهٔ غربی بزرگ‌تر می‌شود، شدت و کیفیت نور خورشید تغییر می‌کند- نور آبی در کناره‌ها کمتر از وسط قرص خورشید است. به (ب) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

در آخرین مراحلی که هنوز کسوف جزئی است، رنگ نامأنوس آفتابی که از هلال خورشید می‌آید، تشدید می‌شود. این نورِ عجیب حیوانات و گیاهان، هر دو را تحت تأثیر قرار می‌دهد: پرنده‌ها به این سو و آن سو می‌پرند و صدا می‌کنند، خروس‌ها می‌خوانند و سگ‌ها هیجان‌زده عوعو می‌کنند. به (پ) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

اندک زمانی پیش از کامل شدن کسوف، مرغ‌ها به لانه می‌روند، خروس‌ها می‌خوانند، بسیاری از گل‌ها چنان که غروب آفتاب است بسته می‌شوند و این آثار هلال خورشید را در سایه‌های برگ درختان نیز می‌توان دید. به (ت) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

چند دقیقه پیش از شروع کسوف کلی نوارهای متحرک شبح مانندی بر هر سطح سفیدی که در هوای آزاد باشد، دیده می‌شود. این نوارها امواج جوی هستند که بر اثر هلال باریک خورشید مرئی شده‌اند. به (ث) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

چند ثانیه پیش از کسوف کامل، تنها چندین تابهٔ نور از خلال دره‌هایی که بر کنارهٔ ماه قرار دارند به زمین می‌تابند. (این تابه‌ها به «تسبیح دانه‌های بیلی» معروف اند). این دانه‌های درخشان در یک آن ناپدید می‌شوند و ناپدید شدن آن‌ها شروع کسوف کلی است. به (ج) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

به هنگام کسوف کلی، زیبایی کامل تاج خورشیدی به نمایش گذاشته می‌شود. هالهٔ مروارید مانندی خورشید را احاطه می‌کند و اغلب اوقات دیده می‌شود که تیغه‌هایی نورانی از تاج ساطع است. ستاره‌ها و سیارات پدیدار می‌شوند و بر عظمت و زیبایی صحنه می‌افزایند. به (چ) در شکل ۹-۱۴ نگاه کنید.

کسوف کلی حداکثر $7\frac{1}{2}$ دقیقه دوام می‌آورد. پرده‌برداری از خورشید با پدیدار شدن تسبیح دانه‌های بیلی در کنارهٔ غربی آغاز می‌شود. همهٔ پدیده‌هایی که در جریان گرفتن خورشید دیده شد، اکنون به ترتیبی وارونه تکرار می‌شود.

۱۰-۱۴ اهمیت علمی کسوف کلی

کسوف کلی فرصت منحصر به فردی را فراهم می‌آورد که چند نوع پژوهش

انجام گیرد.

آ. جو خورشید را بهتر از هر وقت دیگر می‌توان در هنگام کسوف مطالعه کرد؛ خاصه عکس‌های زیادی از طیف درخشی گرفته می‌شود که هم برای تعیین دقیق ضخامت لایه واگردان و هم در مطالعات مربوط به عناصر شیمیایی تشکیل دهندهٔ این لایه، به کار می‌آید.

ب. زمان‌های تماس ماه و خورشید در هنگام کسوف، برای آزمون فرمول‌هایی به کار می‌رود که در تعیین حرکات نسبی این اجرام مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پ. کسوف‌های کلی دهه‌های اخیر برای آزمون «خم شدن» نسبیتی نور به کار رفته‌اند. بنابر نظریهٔ نسبیت عام آینشتاین نور ستارگان در عبور از نزدیکی خورشید در نتیجهٔ کشش گرانشی جرم خورشید بر شعاع‌های نور، باید اندکی خم شود. مقداری که نظریهٔ نسبیت آینشتاین برای این «خم شدن» به دست می‌دهد، به دقت زیاد با آنچه در مواقع کسوف کلی به دست آمده، سازگار است.

فصل ۱۵

سیارات زبرین

قسمت اول: مریخ

۱۵-۱ اطلاعات اساسی

نشانه: ♂

فاصله تا خورشید:

کمترین	۲۰۷،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
میانگین	۲۲۸،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۲۴۸،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز: ۰۹ر۰

زاویهٔ میل مدار با دایرة‌البروج: ۹۰ر۱

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی	۶۸۷ روز
هلالی	۷۸۰ روز

سرعت مداری: ۲۴ کیلومتر بر ثانیه

فاصله از زمین:

کمترین	۵۶،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۳۹۷،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

قطر زاویه‌ای:

کمترین	۶ر۳ ثانیه
بیشترین	۵ر۲۴ ثانیه

قطر:

کمترین (قطبی)	۶،۷۶۰ کیلومتر
بیشترین (استوایی)	۶،۷۹۰ کیلومتر

حجم: ۱۵ر۰ حجم زمین
جرم: ۱۰۸ر۰ جرم زمین
چگالی: ۷ر۰ چگالی زمین
شتاب گرانش سطحی: ۳۸ر۰ شتاب گرانش سطحی زمین
سرعت گریز: ۱ر۵ متر بر ثانیه
دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۲۴ ساعت و ۳۷ دقیقه و ۶ر۳۲ ثانیه
زاویهٔ میل استوای سیاره با سطح مدار آن: °۲ر۲۵
دما:
کمترین $-100^{\circ}C$
بیشترین $270^{\circ}C$
نسبت بازتاب: ۱۵ر۰

گوشزد: روش‌هایی که برای استنتاج اطلاعات بالا به‌کار می‌رود به تفصیل در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۲-۱۵ مقدمه

چون مریخ از بسیاری جهات یگانه است، از سیارات دیگر بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌است. رصدخانه لاول [1] (در نزدیکی فلگستاف [2] در ایالت آریزونا [3]) به قصد مشخص مطالعهٔ سیارات به طور کلی و خاصه مریخ ساخته شد.

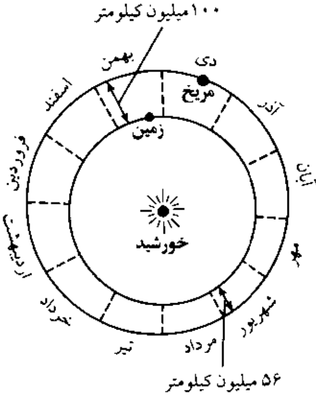
مریخ بحث‌انگیزترین سیاره هم بوده است: حقایقی را که گروهی از منجمان ارائه می‌کردند، دیگران کاملاً مردود می‌شمردند. مثلاً برخی مدعی بودند که خطوط آبیاری مصنوعی را، که تنها می‌تواند به وسیله موجوداتی ذی‌شعور ساخته شود، دیده‌اند. دیگران وجود چنین خطوطی را انکار می‌کردند. (از احتمال بسیار کمی که برای وجود نوعی حیات در سطح این سیاره داده می‌شد، نویسندگان رمان‌های شبه علمی و تولید کنندگان فیلم‌ها و برنامه‌های تلویزیونی تخیلی بسیار استفاده کرده‌اند).

مریخ به خاطر رنگ سرخ و روشنی متغیر آن مشهور است- وقتی که به زمین نزدیک است پنجاه مرتبه پرنورتر از موقعی است که در حداکثر فاصلهٔ خود از زمین قرار دارد.

1- Lowell
2- Flagstaff
3- Arizona

۳-۱۵ مدارهای مریخ و زمین

شکل ۳-۱۵ مدارهای مریخ و زمین.



مدار مریخ درست بیرون مدار زمین است. در هر دورهٔ هلالی (در حدود ۷۸۰ روز) یک بار دو سیاره با خورشید بر یک خط و در یک سوی آن قرار می‌گیرند و در هر دورهٔ تناوب نیز یک بار بر یک خط و در دو سوی مخالف خورشید، واقع می‌شوند. وضعیت نخستین، مقابله نامیده می‌شود و در آن مریخ و خورشید در دو سوی مقابل هم نسبت به زمین اند. وضعیت دوم مقارنه نام دارد و در آن خورشید و مریخ چون از زمین نظر شوند در یک سو واقع اند.

در نتیجهٔ خروج از مرکز مدار مریخ، دو سیارهٔ زمین و مریخ مسیرهای متساوی‌الفاصله‌ای را نمی‌پیمایند. فاصلهٔ میان آن دو در مقابله از حداقل ۵۶ میلیون کیلومتر تا حداکثر ۱۰۱ میلیون کیلومتر تغییر می‌کند. به شکل ۳-۱۵ نگاه کنید. نزدیک‌ترین فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر در حوالی نقطه‌ای روی می‌دهد که زمین در ۳ شهریورماه (۲۵ اوت) اشغال می‌کند و دورترین فاصله (در مقابله) را در ماه بهمن (فوریه) از هم دارند. مقابله‌هایی که درحدود شهریور ماه روی می‌دهند، «مقابله‌های مطلوب» نامیده می‌شوند و وقوع آن‌ها به فواصل ۱۵ یا ۱۷ ساله است. مقابله‌های مطلوب در تیر ماه ۱۳۶۵ (ژوئیه ۱۹۸۶) و شهریور ۱۳۶۷ (سپتامبر ۱۹۸۸) واقع شدند، آخرین مقابله در سال ۲۰۰۳ روی داد.

بیشتر اطلاعات ما در بارهٔ این سیاره در هنگام مقابله‌های مطلوب به‌دست آمده است.

دورترین فاصله‌ای که مریخ از زمین اتخاذ می‌کند، به هنگام مقارنه است و آن برابر با ۳۹۷ میلیون کیلومتر است، یعنی هفت برابر فاصلهٔ آن به هنگام مقابلهٔ مطلوب.

۴-۱۵ سطح سیاره

آ. از پشت تلسکوپ

بهترین تلسکوپ‌ها سطح مریخ را به صورت چهل تکه‌ای از چند رنگ نشان می‌دهند: سرخ، خاکستری و سفید.

نواحی سرخ رنگ صحراهای آن اند، رنگ‌شان یکنواخت و ثابت است و ۶۰ درصد سطح سیاره را می‌پوشانند. رنگ نواحی خاکستری، که حدود ۴۰ درصد سطح را تشکیل می‌دهد، از خاکستری در زمستانِ مریخ تا خاکستری متمایل به آبی در تابستان، تغییر می‌کند. نواحی سرخ‌رنگ بیشتر در شمال و قسمت‌های خاکستری بیشتر در جنوب واقع است.

سطوح سفیدرنگ در حوالی قطب‌های شمال و جنوب سیاره قرار دارند و تغییرات مشخصی را همراه با فصول سیاره نشان می‌دهند. کلاهک سفید در اوایل زمستان، وقتی که قطبِ نزدیک به آن، از خورشید دور است پدیدار می‌شود و اغلب اوقات در طول تابستان، وقتی که همان قطب به سمت خورشید است، از نظر ناپدید می‌شود. بدین ترتیب قطب‌های شمال و جنوبِ به‌تناوب دارای پوششی سفید می‌شوند.

کلاهک سفید به سرعت بسیار زیاد تشکیل می‌شود. ممکن است به فاصلهٔ چند روز از بیست درجه‌ای قطب تا سی درجه‌ای گسترش یابد. به دنبال این دوره، دورهٔ طولانی رکود (فصل زمستان) است که اساساً تغییری در آن روی نمی‌دهد. با شروع بهار کوچک می‌شود و به چندین لکهٔ سفید کوچک بی‌شکل تقسیم می‌گردد. با نزدیک شدن تابستان این لکه‌ها نیز ناپدید می‌شوند.

کلاهک جنوبی معمولاً از کلاهک شمالی بزرگ‌تر می‌شود و کلاهکی است که به احتمال زیاد در طول تابستان نیمکرهٔ جنوبی مریخ کاملاً ناپدید می‌شود.

ب. اطلاعات به دست آمده از سفینه‌های فضایی

دانش کنونی ما از سطح مریخ عمدتاً مبتنی بر یافته‌های سفینه‌های مارینر ۴، ۶، ۷ و ۹ است.

مارینر ۴ در ۱۵ ژوئیه ۱۹٦۵ (۲۴ تیرماه ۱۳۴۴) از ۱۰،۰۰۰ کیلومتری مریخ گذشت و بیست و یک عکس خوب از سطح سیاره به زمین مخابره کرد. عکس‌های بیشتر و بهتری از مارینر ٦، که در ۳۱ ژوئیه ۱۹٦۹ (۹ مرداد ۱۳۴۸) در مداری استوایی از ۳۲۰۰ کیلومتری سطح مریخ عبور کرد و از مارینر ۷، که در ۵ اوت ۱۹٦۹ (۱۴ مرداد ۱۳۴۸) از ۳۲۰۰ کیلومتری سیاره گذشت و قسمتی از مدارش بر بالای قطب جنوب مریخ بود، به‌دست آمد.

مارینر ۹ در نوامبر ۱۹۷۱ پرتاب شد و چنان طرح شده بود که ماهواره‌ای برای مریخ شود (نخستین ماهوارهٔ ساختهٔ دست بشر که به دور سیاره‌ای دیگر حرکت می‌کرد) و جریان پیوسته‌ای از عکس‌ها و اطلاعات علمی را از نقاط مختلف در طول مدار ارسال کند. فاصلهٔ ماهواره از سطح سیاره بین ۱٦۵۰ و ۱۷،۰۰۰ کیلومتر تغییر می‌کرد. این ماهواره تا خاموش شدن وسایلش، نزدیک به یک سال پس از پرتاب، اطلاعات بسیار زیادی مخابره کرد و بر دانش ما از مریخ به مقدار زیادی افزود.

یافته‌های این سفینه حاکی از آن است که سطح مریخ هم شبیه سطح ماه

است و هم شبیه سطح زمین، هم مرده است و هم زنده.

مطالعات زیر نتایج برخی از مشاهداتی است که از سفینه‌های بالا به‌دست آمده است. سطح مریخ مانند سطح ماه پوشیده است از:

آ. دهانه‌ها. دهانه‌ها اندازه‌های گوناگون دارند. قطر بعضی صدها کیلومتر است و قطر بعضی دیگر در حدود چند صد متر. تفاوت دهانه‌های مریخ با دهانه‌های ماه در این است که کناره‌هاشان به آن تیزی نیستند و عمق‌شان کمتر است. برخی از دهانه‌های کوچک‌تر خطوطی را تشکیل می‌دهند و رصدکنندگان اولیه آن‌ها را مجراهای مصنوعی می‌پنداشتند. در اینجا نیز مانند مورد ماه فرض می‌شود که این دهانه‌ها در اصل از برخورد شهاب‌سنگ‌ها به وجود آمده‌اند، از آن پس عوامل جوی سطح مریخ، شکل اصلی آن‌ها را فرسوده است.

ب. رودبسترها در گوشه و کنار سیاره وجود دارند.

سطح مریخ برخلاف سطح ماه دارای ویژگی‌های سطحی زیر است:

پ. کوه‌های آتش‌فشانی. وجود تعداد زیادی کوه آتش‌فشان بر سطح مریخ دال بر این است که سیاره یا هم اکنون و یا در گذشته، داخل بسیار سوزانی داشته است. بزرگ‌ترین آتش‌فشان منظومهٔ شمسی، الیمپوس مانز [1] در مریخ است. ارتفاع آن تقریباً سه برابر قله اورست است. این واقعیت که همهٔ این کوه‌ها بر یک طرف مریخ قرار دارند، این فکر را محتمل می‌سازد که فرآیند گرم شدن نسبتاً جدید است نه قدیمی و این گرما معلول واپاشی آرام رادیواکتیوی اورانیوم وتوریوم است.

ت. کانیون‌ها. دست کم یکی از کانیون‌های مریخ، والیس مارینریس، ۳۲۰۰ کیلومتر طول و ۱۲۰ کیلومتر عرض و ۶٫۵ کیلومتر عمق دارد. برخی از منجمین معتقدند که وجود کانیون‌ها قرینه‌ای است بر این که در مریخ نیز چون زمین پدیدهٔ رانهٔ قاره‌ای به وقوع می‌پیوندد.

ث. برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها. بلندی‌های سطح مریخ معمولاً در حدود ۱٫۵ تا ۳ کیلومتر عرض و ۳ تا ۱۱ کیلومتر طول دارند. این نواحی نور را بسی بیشتر از نواحی پوشیده از دهانه منعکس می‌کنند.

ج. صحراها. یکی از بزرگ‌ترین این صحراها به دشت هلاس [2] موسوم است. در این دشت ۲۰۰۰ کیلومتری هیچ دهانه‌ای وجود ندارد که قطرش بیش از ۳۰۰ متر باشد.

چ. نواحی تپه‌های شنی. این نواحی بر سطح سیاره با بلندی‌هایی به فواصل منظم

1- Olympus Mons

2- Hellas

پوشیده شده‌اند. این بلندی‌ها شباهت زیادی به تپه‌های شنی در سطح زمین دارند.

* در سال ۱۹۷۵، دو سفینه از نوع وایکینگ بر سطح مریخ فرود آمدند. وایکینگ ۱ در بیستم اوت ۱۹۷۵ (۲۹ مرداد ۱۳۵۴) پرتاب شد و در ۲۰ ژوئیه ۱۹۷۶ (۲۹ تیرماه ۱۳۵۵) در محلی به نام دشت کرایسی[۱] بر سیاره فرود آمد. وایکینگ ۲ در ۹ سپتامبر ۱۹۷۵ (۱۸ شهریور ۱۳۵۵) پرتاب شد و در ۳ سپتامبر ۱۹۷۶ (۱۲ شهریور ۱۳۵۵) در دشت یوتوپیا[۲] فرود آمد. فاصلهٔ میان دو نقطه فرود بیش از ۶،۴۰۰ کیلومتر بود. از مأموریت‌های اصلی این دو سفینه، تحقیق در بارهٔ وجود حیات در مریخ بود که تأیید نشد.

مأموریت پث‌فایندر[۳] در سال ۱۹۹۷ گردونهٔ متحرک کوچکی موسوم به سوجورنر را بر مریخ فرود آورد که به تصویرگیری و تجزیهٔ سنگ‌های مریخ پرداخت. نتایج بررسی‌ها این بود که بسیاری از سنگ‌های مریخ از سیل عظیمی به جا مانده است که در حدود دو بیلیون سال پیش در سطح سیاره جاری شد. میان این سنگ‌ها و ردهٔ سنگ‌های زمینی موسوم به آندزیت شباهت زیادی به چشم می‌خورد.

مأموریت سراسری مریخ[۴] یکی از موفقیت آمیزترین برنامه‌های کاوش مریخ بود. موشک آن در ۱۹۹۶ پرتاب شد که در ۱۹۹۷ ماهواره‌ای را در مداری به دور مریخ قرار داد. سیصد هزار تصویری که این ماهواره با توان تفکیک زیاد مخابره کرد اطلاعات وسیعی از سطح مریخ و قرائن متقنی از وجود آب جاری در گذشته، در اختیار منجمان قرارداد. مأموریت بعدی، مأموریت اُدیسه مریخ[۵] بود که در آوریل ۲۰۰۱ پرتاب شد. هدف از این مأموریت‌ها، نقشه‌برداری سطح مریخ، دریافت و انتقال داده‌های مأموریت‌های قبلی، مطالعهٔ قطب جنوب مریخ و بررسی جایگاهی برای فرود در نزدیکی آن، فرود آوردن گردونه‌ای بر سطح مریخ، جمع آوری نمونه‌های خاک و سنگ نقاط مختلف سطح سیاره، و بازگرداندن آن‌ها به زمین بوده است.

در سال ۱۹۹۸، ژاپنی‌ها مأموریت سیاره-B را به اتمام رساندند که هدف آن مطالعه برهم‌کنش‌های میان باد خورشیدی و جو مریخ بود. آژانس فضایی اروپا هم در سال ۲۰۰۳ با مأموریت مارس اکسپرس به آنالیز خاک مریخ پرداخت. *

1- Chryse planitia
2- Utopia Plaitia
3- Pathfinder
4- Mars Global
5- Mars Odyssey Mission

۵-۱۵ جو

هم نظریه و هم آزمایش نشان می‌دهد که مریخ دارای جوی گازی است. در ملاحظات نظری سرعت گریز ۱ر۵ کیلومتر بر ثانیهٔ سیاره دخیل است که آن قدر زیاد هست که جوی را برای سیاره نگاه دارد. شواهد تجربی نیز به شرح زیر اند:

آ. وجود فلق و شفق

ب. نسبت بازتاب

پ. مقایسهٔ عکس‌های فروسرخ و فرابنفش

ت. تغییرات اندازهٔ کلاهک‌های سفید قطبی

ث. حضور گه‌گاهی ابر و مه

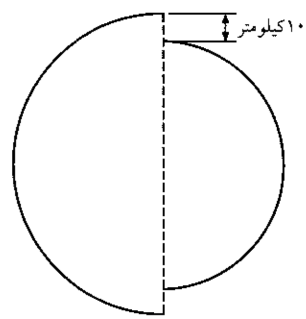
آ. وجود شفق و فلق. مریخ چون سیاره‌ای بیرونی است، دور کاملی از اهله را مانند سیارات داخلی، طی نمی‌کند. این سیاره هرگز به صورت هلال یا تربیع دیده نمی‌شود بلکه یا در حالت بدر است و یا کوژ (اندکی کمتر از بدر). به هنگام کوژی، وجود جو مشاهده شده است. آن قسمت از سمت تاریک مریخ که به طرف زمین است، اندکی روشن است و در حدود °۸ از حد قسمتی که بر اثر نور مستقیم آفتاب روشن شده فراتر می‌رود (آن را منطقهٔ شفق و فلق می‌نامند). منشاء این نور خفیف انعکاس آفتاب است و این انعکاس، درست مانند شفق و فلق در سطح زمین، معلول جو سیاره است.

ب. نسبت بازتاب. مریخ نور خورشید را بهتر از سیاره بدون جوّی چون عطارد منعکس می‌کند. نسبت بازتاب مریخ نزدیک به ۱۵ درصد است (یعنی ۱۵ درصد نور خورشیدی که بر آن می‌تابد بی‌درنگ به فضا منعکس می‌شود) در حالی که نسبت بازتاب عطارد فقط هفت درصد است.

پ. مقایسهٔ عکس‌های فروسرخ و فرابنفش. عکس‌هایی که با صافی (فیلتر)های فرابنفش از مریخ گرفته شده، سیاره را بزرگ‌تر نشان می‌دهد تا عکس‌هایی که به کمک صافی فروسرخ گرفته شده است. شعاع‌هایی که از روی این دو عکس برای سیاره محاسبه می‌شود تقریباً به اندازهٔ ۱۰۰ کیلومتر با هم فرق دارند. ظاهراً عکس فروسرخ متناظر است با قرص جامد سیاره. قرصی که برعکس فرابنفش ظاهر می‌شود. سطح بیرونی جو سیاره را نشان می‌دهد و این کاملاً با نظریهٔ فیزیکی توافق دارد. تابش سرخ و فروسرخ بدون پراکندگی و یا اندکی پراکندگی از گازها می‌گذرد. هر نوع جو گازی، نور آبی را به‌شدت می‌پراکند. صافی فروسرخ، تابیدن نور سرخ و فروسرخی را که مستقیماً از سطح سیاره می‌آید بر صفحهٔ عکاسی مجاز می‌شمارد؛ در حالی که

صافی فرابنفش اشعهٔ آبی و فرابنفشی را که از جو پراکنده اند می‌پذیرد. اختلاف دو شعاع، یعنی ۱۰۰ کیلومتر، ضخامت جو مریخ شمرده می‌شود. به شکل ۵-۱۵ نگاه کنید.

شکل ۵-۱۵ مقایسهٔ عکس‌های فروسرخ و فرابنفش مریخ. سمت چپ با صافی (فیلتر)ای گرفته شده است که نور آبی، بنفش و فرابنفش را از خود عبور می‌دهد. سمت راست به کمک فیلتری گرفته شده است که از آن نور سرخ و فروسرخ می‌گذرد. به اختلاف اندازه‌ها باید دقیقاً توجه کرد. این تفاوت نشان‌دهندهٔ ضخامت جو است که نورهای آبی و بنفش را می‌پراکند.



ت. تغییرات اندازهٔ کلاهک‌های سفید قطبی. این تغییرات نیز دلیل مستقیم دیگری بر وجود جو است. کلاهک‌های سفید احتمالاً CO_2 یخ‌زده اند. در صورتی که جو وجود نداشته باشد، چرخه‌های انجماد و ذوب آن‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود.

* اگر چه اطلاعاتی که از رادیومتر مارینر ۹ به‌دست آمده بود حکایت از آن می‌کرد که کلاهک‌های قطبی مریخ احتمالاً گاز کربنیک یخ‌زده اند ولی اطلاعات دقیق‌تری که از سفینه‌های وایکینگ به دست آمد این نظر را محل تردید قرار داد. تحلیل اطلاعات رادیومتری گردونه‌های مداری وایکینگ از دمای کلاهک قطبی شمالی (۲۰۵ درجه مطلق در تابستان) همراه با مقدار فشار جو در سطح مریخ نشان می‌دهد که گاز کربنیک نمی‌تواند در این شرایط پایدار باشد. حال آن که یخ در دمای °۲۰۵ مطلق پایدار است. تحلیل داده‌هایی که از طیف‌سنج گردونه‌های مداری به‌دست آمد نیز این نظر را تأیید می‌کند که کلاهک‌های قطبی صرفاً متشکل از یخ اند. *

ث. حضور گه گاهی ابر و غبار. این هم دلیل دیگری بر وجود جو در مریخ است.

ارقامی که سفینه‌ها به دست داده‌اند حاکی از آن است که جو مریخ تقریباً ۲۰۰ مرتبه رقیق‌تر از جو زمین است. فشارسنج در سطح مریخ فشار سطحی ۵ میلی‌بار را، در قیاس با ۱،۰۰۰ میلی‌بار در سطح زمین، نشان خواهد داد.

نزول فشار با افزایش ارتفاع، در مریخ بسیار کندتر از زمین است. در ۳۰ کیلومتری سطح دو سیاره فشارهای جو تقریباً برابرند. از ۳۰ کیلومتری به بالا فشار در مریخ بیشتر است تا فشار در همان ارتفاع از سطح زمین.

از اجزاء اصلی جو مریخ گاز کربنیک (CO_2) است. مقدارهای اندکی هم بخار آب و اکسیژن تشخیص داده شده است. بقیه احتمالاً نیتروژن است. (بنابر اطلاعات گردونهٔ مریخ‌پیمای شوروی ممکن است تا ۳۰ درصد جو مریخ گاز بی‌اثر آرگون باشد).

* داده‌های طیف‌سنجی گردونه‌های وایکینگ نشان دادند که جو مریخ در سطح سیاره دارای ترکیب زیر است: ۹۵ درصد گاز کربنیک، ۲٫۵ درصد نیتروژن، ۱٫۵ درصد آرگون و مقادیر کمی عناصر دیگر. به‌علاوه بخار آب بیش از همه در لبهٔ کلاهک قطبی شمالی متمرکز بود. مقدار بخار آب موجود

در نواحی قطبی به اندازه‌ای است که اگر در تمام سطح سیاره پخش شود لایه‌ای به ضخامت یک دهم میلی‌متر را به وجود می آورد.*

مریخ دارای میدان مغناطیسی بسیار ضعیفی است، با شدتی کمتر از یک هزارم شدت میدان مغناطیسی زمین؛ و این دال بر جامد بودن هستهٔ مرکزی سیاره است. مریخ دارای کمربند تابشی نیست.

در آسمان مریخ چندین نوع ابر دیده شده است. دو نوع از آن‌ها بسیار برجسته اند: (آ) ابرهای سیروس‌مانند، (ب) ابرهای غبار.

آ. ابرهای سیروس‌مانند درست مانند ابرهای سفید سیروس در زمین از بلورهای یخ یا $CO_۲$ یخ‌زده تشکیل شده‌اند؛ اما در ارتفاع‌های بسیار (۳۰ کیلومتر) از ارتفاع همتاهای زمینی‌شان قرار دارند. وقتی که بر فراز کلاهک قطبی زمستانی باشند بی‌حرکت به‌نظر می‌رسند؛ در عرض‌های جغرافیایی میانه سرعت‌های ۴۵ کیلومتر در ساعت یا بیشتر هم برای این ابرها مشاهده شده است.

ب. ابرهای غبار، در بیشتر اوقات برای مدتی دراز بر فراز یخ، ساکن و بی‌حرکت اند. اما دیده شده است که آن‌ها هم به‌سرعت‌های زیاد حرکت می‌کنند. برآورد می‌شود که ابرهای غبار با سرعتی در حدود ۳۲۰ کیلومتر در ساعت صحراهای مریخ را درمی‌نوردند. (مارینر ۹ به مدت ۸ هفته بلافاصله پس از رسیدن به مدار مقرر، با طوفان غبار شدیدی احاطه شده بود). بررسی دقیق اطلاعات موجود ظاهراً حاکی از آن است که ابرهای غبار اغلب در مواقعی روی می‌دهند که مریخ در حضیض خورشیدی، یعنی در نزدیک‌ترین فاصله ازخورشید است.

۶-۱۵ فصول و آب و هوا

فصول مریخ از پاره‌ای جهات شبیه فصول زمین است و از برخی جهات دیگر متفاوت با آن.

شباهت‌ها عبارت اند از:

آ. عرض مناطق اقلیمی در هر دو سیاره شبیه هم اند و این عمدتاً معلول زاویهٔ میل صفحهٔ استوا با صفحهٔ مدار است. در مورد زمین این زاویهٔ میل °۵ر۲۳ است و در مورد مریخ °۲ر۲۵. البته زاویهٔ میل محورها علت اصلی فصول اند. هردو سیاره چهار فصل دارند.

ب. تغییرات مدت روشنی روز در هر دو سیاره مانند هم است. دورهٔ تناوب یک بار دوران کامل مریخ به دور محور اندکی بیش از $\frac{۱}{۲}$۲۴ ساعت

است و از آن زمین ۲۴ ساعت.

تفاوت‌ها عبارت اند از:

پ. طول هریک از فصول مریخ تقریباً دو برابر فصول زمین است. طول فصل به دورهٔ تناوب حرکت انتقالی سیاره به دور خورشید بستگی دارد. دورهٔ تناوب نجومی زمین $\frac{1}{4}$۳۶۵ روز است و از آن مریخ ۶۸۷ روز.

ت. دمای متوسط هر یک از مناطق اقلیمی در مریخ کمتر از دمای نظیر بر سطح زمین است، زیرا فاصلهٔ مریخ تا خورشید ۵۰ درصد بیش از فاصلهٔ زمین تا خورشید است و در نتیجه شدت گرما ونور خورشید در آن کمتر است. در منطقهٔ استوایی دمای مریخ به هنگام ظهر به ندرت از $27\,^{\circ}C$ فزون‌تر می‌شود و به هنگام نیمه شب کم‌ترین مقدار آن $-68\,^{\circ}C$ است.

ث. تابستان نیمکرهٔ جنوبی مریخ بسیار گرم‌تر از تابستان نیمکرهٔ شمالی آن است و این معلول خروج از مرکز بسیار بزرگ مدار سیاره است که ۰٫۰۹ در برابر مقدار ۰٫۰۲ برای زمین است؛ یعنی فاصلهٔ مریخ از خورشید در حضیض خورشیدی آن به میزان ۲۰ درصد کمتر از فاصلهٔ آن در اوج خورشیدی است. این تفاوت فاصله برای زمین ۳ درصد است.

ج. تغییر دما از روز به شب در مریخ بسیار شدیدتر از زمین است زیرا جو مریخ خیلی رقیق‌تر است.

۷-۱۵ حیات در مریخ

ده‌ها سال این تصور شایع بود که برخی انواع حیات در مریخ وجود دارد. توجه خاصی که علم به این سیاره مبذول می‌داشت تا اندازه‌ای معلول این تصور بود.

آنچه در حال حاضر می‌توان گفت این است که در میان همهٔ سیارات و اقمار منظومهٔ شمسی، مریخ و اروپا (قمر مشتری) محتمل‌ترین اجرامی اند که در آن‌ها احتمال حیات می‌رود.

با شرایطی که در زیر برمی‌شمریم، به دشواری می‌توان تصور کرد که حیات پیشرفته بتواند وجود داشته باشد:

آ. فقدان آب یا مقدار بسیار اندک آن

ب. فقدان اکسیژن یا مقدار بسیار اندک آن

پ. فشار جوی که برابر با $\frac{1}{200}$ فشار جو زمین است.

ت. رگبارهای شدید اشعهٔ فرابنفش که می‌توانند ساده‌ترین مولکول‌ها را درهم بشکنند.

ث. سقوط شهاب‌سنگ‌ها. در زمین، جو از ما در برابر شهاب‌سنگ‌ها

حفاظت می‌کند.

دو سفینهٔ علمی آمریکایی وایکینگ به منظور اصلی جستجوی حیات در مریخ، در سال ۱۹۷۶ بر سطح این سیاره فرود آمدند.

* برای اطلاعات مربوط به این دو سفینه بـه صـفحهٔ ۳۰۶ نگـاه کـنید. گردونه‌های سفینه‌های وایکینگ ۱ و ۲ که در ژوئیه و سپتامبر ۱۹۷۶ بر سطح سیاره مریخ فرود آمدند، با قاشقک‌های مخصوصی مقداری از مواد سطحی برداشتند و آزمایش‌های چندی را از نظر وجود حیات بر روی خاک سیاره انجام دادند. بیشتر ایـن آزمـایش‌ها وجـود حـیات مـوجودات ذره‌بـینی را بـا واکنش‌ها و ترکیب‌هایی که در زمین دیده شده است نفی کردند. برای نتایج معدودی از آن‌ها می‌شد تعبیری زیست‌شناختی کرد. هـرچـند کـه تـعبیرهای غیرارگانیک نیز میسر بود. با آن که کفهٔ قرائن به جانب فقدان حیات در مریخ سنگینی می‌کند ولی سفینه‌های وایکینگ نتوانستند مسئله وجود یا فقدان حیات در مریخ را به طور قطع و یقین حل کنند.

در سال ۱۹۹۶ دانشمندان سازمان ناسا و دانشگاه اسـتنفورد مشـخصات غیر متعارف شهاب سنگی را اعلام کردند که به احتمال قوی در گذشته دور از مریخ جدا و بر سطح زمین (قارهٔ جنوبگان) فرود آمده بود. بررسی‌های اولیه حاکی از قرائنی از بقایای نوعی حیات باکتریایی اولیه بود. نتایج به‌دست آمده هنوز مورد مناقشه است. *

در این مورد که آیا شرایط مـریخ در گـذشته بـرای حـیات (هـرقدر هـم ابتدایی) مناسب بوده است، یا اکنون مناسب است و یا در آینده مناسب خواهد بود، میان دانشمندان اختلاف نظر وجود دارد.

۱۵-۸ قمرها

مریخ دو قمر کوچک دارد کـه نـام‌های خـود- فـوبوس (تـرس) و دیـموس (وحشت)- را از یاران اسطوره‌ای مارس (مریخ) خدای جنگ گرفته‌اند.

فوبوس، قمر بزرگ‌تر، قطری در حدود ۱۶ کیلومتر دارد در حالی که قطر دیموس فقط ۱۱ کیلومتر است. هر دو در صفحهٔ استوایـی مـریخ در جـهت متعارف، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت، به دور آن می‌گردند.

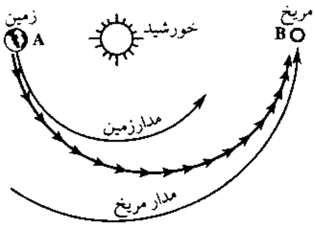
فوبوس ۹۲۵۰ کیلومتر از مرکز سیاره و فقط ۵۹۰۰ کیلومتر از سـطح آن، فاصله دارد. دورهٔ تناوب حرکت انتقالی آن به دور سیاره ۷ ساعت و ۳۹ دقیقه است و این کمتر از مدت دوران خـود مـریخ بـه دور مـحورش است. فوبوس در مغرب طلوع و $4\frac{1}{2}$ ساعت بعد در مشرق غروب می‌کند.

دیموس ۲۵۰۰۰ کیلومتر از مرکز مریخ فاصله دارد. دورهٔ تناوب حرکت انتقالی آن به دور سیاره - ۳۰ ساعت و ۱۸ دقیقه - فقط اندکی با دورهٔ تناوب حرکت وضعی خود سیاره - ۲۴ ساعت و ۳۷ دقیقه - تفاوت دارد. دیموس از مشرق طلوع می‌کند، اندکی از سیارهٔ در حال دوران عقب می‌افتد و پیش از آن که در مغرب غروب کند، دو دور کامل اهله را سپری می‌کند.

۹-۱۵ سفر به مریخ

مریخ به هنگام مطلوب‌ترین مقابله، فقط ۵۶ میلیون کیلومتر با زمین فاصله دارد. برای صرفه‌جویی در سوخت، یک سفینهٔ فضایی مداری منحنی را می‌پیماید نه مستقیم. در طول قسمت اعظم مدار، سفینه می‌تواند «خلاص» برود و از مصرف سوخت پرهیز کند.

شکل ۹-۱۵ مدار سفینهٔ مریخ‌پیما، بیضی شکل و خورشید در یکی از کانون‌های آن است. نقطهٔ A حضیض خورشیدی (نزدیک‌ترین نقطه به خورشید) این مدار و نقطهٔ B اوج خورشیدی (دورترین نقطه از خورشید) آن است.



بهترین مدار برای یک سفینهٔ فضایی مداری است که با خط AB در شکل ۹-۱۵ مشخص شده است. مدار سفینه یک بیضی است که حضیض خورشیدی آن در لحظهٔ ترک زمین است (نقطه A) و اوج آن هنگامی است که به مریخ می‌رسد (نقطه B).

برای قرار دادن سفینه بر مدار لازم است که سرعتی در حدود ۴۳ کیلومتر بر ثانیه به آن داد، ۳۲ کیلومتر برای آن که بر مدار مورد نظر قرار گیرد و ۱۱ کیلومتر برای گریختن از میدان گرانشی زمین.

در نتیجهٔ سرعت زمین در مدارش به دور خورشید، سفینه خودبه‌خود دارای سرعتی برابر ۳۰ کیلومتر بر ثانیه است و سوخت فقط باید سرعتی برابر ۱۳ کیلومتر بر ثانیه را تأمین کند.

پس از آن که سفینه بخش اعظم مسیر را تحت اثر نیروی گرانشی خورشید «خلاص» رفت، با سرعتی در حدود ۲۴ کیلومتر در ثانیه به نقطهٔ B می‌رسد (۲۰۰ و چند روز بعد از پرتاب) و زیر تأثیر نیروی گرانشی مریخ، که می‌کوشد این سرعت را تقریباً به اندازهٔ ۵ کیلومتر بر ثانیه افزایش دهد، قرار می‌گیرد. چون سرعت مریخ در اوج خورشیدی‌اش (نقطهٔ B) در حدود ۲۶ کیلومتر بر ثانیه است، سرعت نسبی دو جسم بالغ بر ۷ کیلومتر بر ثانیه (۷ = ۵ + ۲۴ - ۲۶) می‌شود. لازم است این سرعت پیش از فرود آمدن بر سطح سیاره به حداقل رسانده شود یا آن که سفینهٔ اصلی با قرار گرفتن در مدار استقرار، گردونهٔ فرودی را برای نشستن بر سطح سیاره رها کند.

قسمت دوم: سیارک‌ها

۱۵-۱۰ اطلاعات اساسی

تعداد کل: دست کم ۱۰۰،۰۰۰ تا از آن‌ها، قطری بیش از ۱ر۵ کیلومتر دارند.
قطرها: قطر کوچک‌ترین آن‌ها کسری از کیلومتر و قطر بزرگ‌ترین‌شان ۸۰۰ کیلومتر است.
جرم کل سیارک‌ها: $\frac{۱}{۲۰۰۰}$ جرم زمین
فواصل متوسط از خورشید: از ۲۰۰ تا ۸۰۰ میلیون کیلومتر
دوره‌های تناوب نجومی: ۲ تا ۱۲ سال
زوایای میل مدار با دایرةالبروج: از °۰ تا °۴۸
خروج از مرکز: از ۰ تا ۶۶ر۰

۱۵-۱۱ مقدمه

سیاره‌ای مفقود است. به لحاظ نظری باید بین مریخ و مشتری سیاره‌ای در مدار باشد. تاکنون سیاره‌ای در آنجا یافته نشده است. اما در عوض تعداد بسیار زیادی جرم خرد وجود دارد که به نام‌های سیارات خرد، سیارات صغار و سیارک‌ها موسوم اند. بعضی از این اجرام قطری به بزرگی ۸۰۰ کیلومتر دارند و برخی دیگر کمتر از ۱ر۵ کیلومتر. سرس [1] نخستین سیارکی بود که در سال ۱۸۰۱ کشف شد. سه تای بعدی (پالاس [2]، جونو [3] و وستا [4]) در سال‌های ۱۸۰۲، ۱۸۰۴ و ۱۸۰۷ کشف شدند. عدهٔ سیارک‌های شناخته شده بالغ بر ده‌ها هزار می‌شود که بسیاری از آن‌ها شکل‌های نامتعارفی دارند حاکی از آن که ممکن است اجزا و قطعات سیاره‌ای باشند که نیروی کشندی سیارهٔ مشتری مانع تکوین آن شده است.

۱۵-۱۲ «کشف» نظری

چنان که در نجوم به‌کرات اتفاق افتاده است، سیارک‌ها هم نخست به طور نظری «کشف شدند» سپس در آسمان. این کشف بر قاعدهٔ بُدِه مبتنی بود که نام

1- Ceres
2- Pallas
3- Juno
4- Vesta

آن از یوهان الرت بُدِه[1] (۱۸۲۶-۱۷۴۶) منجم آلمانی گرفته شده است. آن را قاعده تیتیوس - بُدِه نیز می‌گویند.

قاعدهٔ بُدِه

آ. سیارات را به ترتیب دوری از خورشید بنویسید.

ب. عدد چهار را زیر هر سیاره بنویسید.

پ. حاصل ضرب‌های ۳× ۰، ۳×۱، ۳×۲، ۳×۴، ۳×۸ و غیره را به ترتیب زیر هر سیاره بنویسید.

ت. ستون‌های قائم را جمع کنید و حاصل را بر ۱۰ تقسیم کنید.

آ.	عطارد	زهره	زمین	مریخ	؟	مشتری	زحل
ب.	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
پ.	۰	۳	۶	۱۲	۲۴	۴۸	۹۶
ت.	۰٫۴	۰٫۷	۱٫۰	۱٫۶	۲٫۸	۵٫۲	۱۰٫۰

ردیف زیرین اعداد، با دقت کافی، متناظر است با فاصلهٔ واقعی سیارات ازخورشید بر حسب واحد نجومی (یک واحد نجومی برابر است با فاصلهٔ زمین از خورشید). فواصل واقعی عبارت اند از:

۰٫۳۹ ۰٫۷۲ ۱٫۰۰ ۱٫۵۲ ۲٫۸ ۵٫۲ ۹٫۵۴

مطابق این قاعده باید در فاصلهٔ ۲٫۸ واحد نجومی از خورشید سیاره‌ای وجود داشته باشد. جستجوی منظم این «سیارهٔ مفقود» در نوار منطقةالبروج، که همهٔ سیارات بر آن حرکت می‌کنند، به کشف تعداد زیادی سیارک انجامید. نخستین سیارک سرس (نام رب‌النوع نگهبان سیسیل) در اول ژانویه ۱۸۰۱ به وسیلهٔ منجم ایتالیایی جوسپه پیاتزی[2] (۱۸۲۶-۱۷۴۶) کشف شد. فاصلهٔ آن از خورشید خیلی نزدیک به مقداری است که قاعدهٔ بُدِه به دست می‌دهد.

گوشزدها: ۱. وقتی که این قاعده انتشار یافت (۱۷۷۲) هنوز اورانوس، نپتون و پلوتون کشف نشده بودند. اورانوس اندک زمانی بعد کشف شد و معلوم شد که فاصله‌اش از خورشید با قاعدهٔ بُدِه می‌خواند- ۱۹٫۶ بنا بر قاعدهٔ بُدِه و ۱۹٫۲ بر اساس اندازه‌گیری. اما نپتون و پلوتون به هیچ روی در این قاعده

1- John Elert Bode 2- Giuseppe Piazzi

صدق نمی‌کنند.

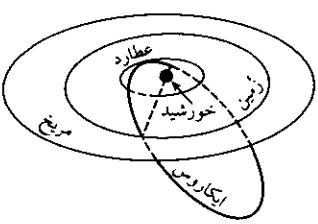
۲. نظریه‌ای که به نظریهٔ واهلش دینامیکی موسوم است، توضیحی برای قاعدهٔ بُدِه فراهم می‌آورد. بنا بر این نظریه، سیارات پس از تکوین یافتن در مدارهایی کاملاً متفاوت با آنچه اکنون دارند حرکت می‌کردند. مدار هر سیاره در پاسخ به نیروهای گرانشی همسایگانش چنان تغییر کرد که نیروهای پریشنده، کمینه (می‌نیموم) شدند. ترتیب نهایی، از روابطی ریاضی شبیه به قاعدهٔ بُدِه پیروی می‌کند.

۱۳-۱۵ مدارهای سیارک‌ها

اکثریت عظیم سیارک‌ها بر مدارهایی بین مدارهای مریخ و مشتری واقع اند. حضیض خورشیدی بعضی سیارک‌ها، از جمله ۴۳۳ ارس[1]، ۷۱۹ آلبرت[2] و ۲۵ پروکیا[3] در داخل مدار مریخ است.

گوشزد: همین که مدار سیارکی مشخص می‌شود، عددی- به ترتیب زمان کشف- بدان نسبت داده و به دنبالش نامی نهاده می‌شود (مثلاً ۱ سرس، ۲ پالاس، ۳ جونو وغیره). نام را معمولاً کاشف برمی‌گزیند. در آغاز نام‌های زنانه از اسطوره‌های یونان و روم انتخاب می‌شد. بعدها نام‌هایی از نمایشنامه‌های شکسپیر و اپراهای واگنر برگزیده شد. بسیاری از سیارک‌ها را کاشفان به نام‌های زنان، دوستان وحتی سگ‌ها و گربه‌های خود نامیدند. همواره نام‌های مؤنث به کار رفته است، جز در مورد چند سیارک که مدارهایی نامتعارف دارند، بر این سیارک‌ها نام‌های مذکر نهاده شده است.

شکل ۱۳-۱۵ مدار ایکاروس زاویهٔ ۲۱ درجه با مدار زمین به دور خورشید می‌سازد.



سیارک‌های چندی وجود دارند که اوج خورشیدی آن‌ها فراتر از مدار مشتری است: از این زمره اند ۶۲۴ هکتور[4]، ۶۵۹ نستور[5] و ۶۱۷ پاتروکلوس[6].

دامنهٔ زوایای میل مدارهای سیارک‌ها با دایرةالبروج بسیار وسیع است؛ مدارهای برخی تقریباً بر دایرةالبروج منطبق است؛ حال آن که بعضی دیگر زوایای میل بزرگی را با دایرةالبروج می‌سازند. مدار ایکاروس[7] در شکل ۱۳-۱۵ نشان داده شده است. مدار این سیارک با مدار زمین به دور خورشید زاویهٔ 21° می‌سازد.

1- 433 Eros
2- 719 Albert
3- 25 Procaea
4- 624 Hector
5- 659 Nestor
6- 617 patroclus
7- Icarus

سیارک‌ها نیز همگی مانند سیارات در مدارهایی مستقیم، یعنی در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به دور خورشید می‌گردند.

۱۵-۱۴ دوره‌های تناوب نجومی سیارک‌ها

دوره‌های تناوب نجومی سیارک‌ها بسیار متفاوت است، حد پایین آن‌ها ۲ سال و حد بالا برابر ۱۲ سال است. اما دوره‌های تناوب «ممنوع» هم وجود دارد، بدین معنی که هیچ سیارکی نیست که دورهٔ تناوب آن یک دوم، یک سوم و یا یک چهارم دورهٔ تناوب مشتری (۸۶ر ۱۱ سال) باشد. این رویداد پیامد مستقیم پدیده‌ای فیزیکی موسوم به تشدید گرانشی است. جاذبهٔ گرانشی مشتری بر سیارک‌هایی که بر این مدارها حرکت کنند جمع شونده (کومولاتیو) است و موجب می‌گردد که این جرم‌های کوچک به مدارهای دیگر بروند.

۱۵-۱۵ سیارک‌های برجیسی

برجیسی‌ها نامی است که به دو گروه سیارک داده شده است که همان مدار مشتری (برجیس) را می‌پیمایند: یک گروه °۶۰ پیشاپیش مشتری و دیگری °۶۰ به دنبال آن.

مکان این سیارک‌ها نسبت به سیاره با جواب نظری مسئله سه جسم که به وسیلهٔ ژوزف لوئی لاگرانژ[1] (۱۸۱۳-۱۷۳۶) داده شده است، مطابقت دارد.

۱۵-۱۶ سیارک‌ها از چه لحاظ مورد توجه اند؟

توجه عمدهٔ ما به سیارک‌ها از بابت نزدیک شدن‌های آن‌ها است به خورشید و زمین. ایکاروس که در ۱۹۴۹ کشف شد از هر جرم شناخته شدهٔ دیگری (۲۷ میلیون کیلومتر بیش از عطارد) به خورشید نزدیک‌تر می‌شود.

چندین سیارک دیگر نیز اخیراً کشف شده‌اند که از فاصله‌ای کمتر از ۱۶ میلیون کیلومتری مدار زمین می‌گذرند. نزدیک‌ترین فاصلهٔ ثبت شده در ۱۸ مهرماه ۱۳۱۶ (۱۰ اکتبر ۱۹۳۷) روی داد که سیارک کوچک هرمس[2] از ۸۰۰ هزار کیلومتری زمین عبور کرد.

سیارک‌ها در بررسی حرکت اجرام سماوی دیگر مفید واقع می‌شوند.

* سیارک گاسپرا[3] اولین سیارکی بود که یک سفینه فضایی از آن دیدار

1- Joseph Louis Lagrange
2- Hermes
3- Gaspra

کرد. سفینهٔ گالیله که راهی سیارهٔ مشتری بود در اکتبر ۱۹۹۱ از ۱۶۰۰ کیلومتری این سیارک گذشت و از آن عکس‌برداری کرد. همین سفینه در سال ۱۹۹۳ از فاصلهٔ ۲۴۰۰ کیلومتری سیارک ایدا[1] عبور کرد و نخستین تصویرهای این سیارک را به زمین مخابره کرد. ایدا به قطر ۵۲ کیلومتر، قمر کوچکی هم دارد که به دورش می‌گردد؛ به‌علاوه میدان مغناطیسی هم دارد.

سفینهٔ فضایی نی‌یر[2] به قصد خاص بررسی سیارک‌ها و فرود آمدن بر سیارک اروس، در سال ۱۹۹۶ توسط سازمان ناسا پرتاب شد. این سفینه در سال ۱۹۹۷ از کنار سیارک ماتیلده[3] عبور کرد و در فوریه سال ۲۰۰۰ بر مداری گرد اروس قرار گرفت و اطلاعات ذی‌قیمتی از این سیارک به زمین ارسال کرد. متخصصان کنترل این سفینه توانستند فرود و خیز آرام آن را در سال ۲۰۰۱ بر سطح سیارک هدایت کنند.

دانشمندان ژاپنی هم در سال ۲۰۰۲ سفینهٔ میوزز C[4] برای نمونه‌برداری از سیارک ML ۱۹۸۹ ۱۰۳۰۲ و بازگشت به زمین، پرتاب کردند. این سیارک در بیرون کمربند اصلی سیارکی جای دارد. *

قسمت سوم: سیارهٔ مشتری (برجیس)

۱۷-۱۵ اطلاعات اساسی

نشانه: ♃

فاصله تا خورشید:

کمترین	۷۴۰،۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر
متوسط	۷۷۸،۱۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۸۱۵،۹۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۴۸ر۰

زاویهٔ میل مدار با دایرة‌البروج: ''۱۸ '۱۸ ۱°

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی	۸۶ر۱۱ سال
هلالی	۹ر۳۹۸ روز

1- Ida
2- NEAR(Near Earth Astroid Renedevous)
3- Mathilde
4- Muses C

سرعت مداری (میانگین): ۱۳ کیلومتر بر ثانیه

فاصله از زمین:

کمترین	۵۹۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۹۶۵،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

قطر زاویه‌ای (مقدار متوسط، به هنگام مقابله): ۸۶ر۴۸ ثانیه

قطر:

کمترین (قطبی)	۱۳۳،۵۰۰ کیلومتر
بیشترین (استوایی)	۱۴۲،۹۸۴ کیلومتر

حجم: ۱،۳۱۹ برابر حجم زمین

جرم: ۹ر۳۱۷ برابر جرم زمین

چگالی: ۲۴ر۰ چگالی زمین

شتاب گرانش سطحی: ۶۹ر۲ برابر شتاب گرانش سطحی زمین

سرعت گریز: ۶۰ کیلومتر بر ثانیه

دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور (میانگین): ۹ ساعت و ۵۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه

زاویهٔ میل استوای سیاره با مدار آن: $3^{\circ}\ 7'$

دما (در رأس ابرها): $-145^{\circ}C$

نسبت بازتاب: ۵۲ر۰

گوشزد: روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به کار رفته به‌تفصیل در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۱۵-۱۸ مقدمه

مشتری، زحل، اورانوس و نپتون گروه سیارات بزرگ را تشکیل می‌دهند که به خاطر حجم‌های عظیم، جرم‌های بزرگ و چگالی‌های کم‌شان متمایز اند.

مشتری از همهٔ سیارات حجیم‌تر است: می‌تواند در حجمی که اشغال کرده است همهٔ سیارات دیگر را جای دهد. جرم آن نیز عظیم است. سیصد کره به سنگینی زمین لازم است تا با مشتری موازنه کند.

۱۵-۱۹ چه می‌بینیم؟

آ. با چشم برهنه. مشتری به چشم برهنه چون شیء پرنور زرد رنگی می‌آید که

به کندی از برج‌های دوازده گانهٔ منطقةالبروج می‌گذرد و در اندکی کمتر از ۱۲ سال یک دور کامل را می‌پیماید.

تنها یک ستاره وجود دارد که در روشنی بر مشتری فزونی دارد و آن شعرای یمانی است و تنها سیارهٔ زهره وگاه سیارهٔ مریخ است که از او پرنورتر اند. مشتری تقریباً شش ماه از سال، هر شب به صورت سیاره‌ای درخشان در پهنهٔ ستارگان دیده می‌شود.

ب. با تلسکوپ. چون مشتری را با تلسکوپ رصد کنیم، کرهٔ پخی را می‌بینیم که بر آن علائمی مشخص - به رنگ نارنجی یا سرخ - به موازات استوا وجود دارد. این کمربندها که به احتمال زیاد جریان‌هایی در جو وسیع سیاره اند، به مناطق بادهای بسامان زمین می‌مانند. کمربند استوایی کم رنگ است و عرض آن از ۱۹،۰۰۰ تا ۲۴،۰۰۰ کیلومتر تغییر می‌کند؛ در هر دو طرف کمربند استوایی، نوارهای متناوب روشن و تاریک به موازات یکدیگر قرار دارند. این کمربندها، هر چند از نظر خطوط کلی ثابت می‌مانند، ولی مکان، رنگ و شکل آن‌ها در طول زمان تغییر بسیار می‌کند.

دورهٔ تناوب حرکت وضعی مشتری از روی رصدهای علائم نیمه‌دائمی کمربندهای سیاره تعیین شده است و هیچ دوتایی از آن علائم نیست که دورهٔ تناوب واحدی داشته باشند.

دورهٔ تناوب سیاره با عرض جغرافیایی تغییر می‌کند - در استوا از همه کمتر (۹ ساعت و ۵۰ دقیقه) و در عرض‌های دور از استوا از همه بیشتر (۹ ساعت و ۵۶ دقیقه) است. دورهٔ تناوب میانگین سیاره ۹ ساعت و ۵۰ دقیقه است. تغییرات دورهٔ تناوب با عرض جغرافیایی به طور یکنواخت افزایش پیدا نمی‌کند، بلکه کاملاً نامنظم است. برای تکمیل آشفتگی، دوره‌های تناوب در عرض‌های جغرافیایی نظیر در نیمکره‌های شمالی و جنوبی مشتری یکی نیستند و در فاصله‌های زمانی دراز هم ثابت نمی‌مانند.

دورهٔ تناوب متوسط حرکت وضعی مشتری - ۹ ساعت و ۵۴ دقیقه - و شعاع آن - ۷۱،۴۰۰ کیلومتر - ایجاب می‌کنند که سرعت ماده در نزدیکی سطح بسیار زیاد، در حقیقت ۴۸،۰۰۰ کیلومتر در ساعت باشد. رقم نظیر برای زمین در حدود ۱۶۰۰ کیلومتر در ساعت است.

تردیدی نیست که سرعت بسیار زیاد دوران مشتری موجد برآمدگی قابل ملاحظهٔ استوایی سیاره است؛ قطر قطبی سیاره در حدود ۹۳۰۰ کیلومتر از قطر استوایی آن کمتر است.

در بعضی مواقع لکه‌های روشنی بر کمربندهای تاریک مشتری و در مواقع

دیگر لکه‌های تاریک بر کمربندهای روشن آن پدیدار می‌شود. یکی از این لکه‌ها موسوم به لکهٔ سرخ بزرگ، در تاریخ نجوم واجد اهمیت است. این لکه تقریباً به طور ناگهانی در سال ۱۸۷۸ آشکار شد و منطقه‌ای را به طول ۵۰،۰۰۰ کیلومتر و به عرض ۱۱،۰۰۰ کیلومتر فرا گرفت. اندک زمانی پس از ظهور، شروع به محو شدن کرد، نخست به سرعت و بعد به آرامی، سپس بار دیگر پرنور شد.† این لکه از زمانی که برای نخستین بار دیده شد تاکنون چندین بار دستخوش چنین چرخه‌هایی شده است. به‌علاوه به نظر می‌رسد که نسبت به کمربندی که در آن است حرکت می‌کند؛ سرعت این حرکت نیز متغیر است- گاه لکه تندتر از نوار حرکت می‌کند و گاه کندتر از آن.

پ. رصدهایی که با سفینه‌های فضایی انجام شده است. سفینهٔ فضایی پایونیر[1] ۱۰ در ۳ دسامبر ۱۹۷۳ از کنار مشتری گذشت و پایونیر ۱۱ نیز یک سال بعد بدان نزدیک شد. تصاویری که این سفینه‌ها گرفتند نشان داد که مشتری عمدتاً متشکل از ئیدروژن مایع است.

* در سال ۱۹۷۷ دو سفینه فضایی وُیه‌جر (Voyager) ۱ و ۲ به منظور بررسی علمی سیاره‌های بزرگ منظومهٔ شمسی پرتاب شدند. ویه‌جر ۱ در ۵ سپتامبر ۱۹۷۷ (۱۴ شهریور ۱۳۵٦) پرتاب شد و در ماه مارس ۱۹۷۹ (فروردین ۱۳۵۸) از نزدیکی مشتری و در نوامبر (مهرماه) همان سال از نزدیکی زحل عبور کرد. ویه‌جر ۲، برخلاف شماره‌اش، دو هفته زودتر از ویه‌جر ۱ پرتاب شد. مسیرها چنان انتخاب شده بود که ویه‌جر ۲ چهارماه بعد از ویه‌جر ۱ به مشتری برسد و قمرهایی از این سیاره را بررسی کند که در مسیر سفینهٔ ویه‌جر ۱ نبودند.

سفینه پایونیر ۱۱ پس از عبور از مشتری راهی زحل شد و در ۱۹۷۹ از کنار این سیاره گذشت. سفینه ویه‌جر ۲ از کنار سیاره‌های زحل (۱۹۸۱)، اورانوس (۱۹۸٦) و نپتون (۱۹۸۹) عبور کرد و اطلاعات ذی‌قیمتی از این سیارات و اقمارشان در اختیار ما گذاشت.

مدارگَرد گالیله که در ۱۹۸۹ از شاتل فضایی پرتاب شد در ۱۹۹۵ بر مداری حول مشتری قرار گرفت و کاوه‌ای برای بررسی جو مشتری گسیل کرد که با سرعت زیاد جو سیاره را شکافت و به مدت ٦ر۵۷ دقیقه به ارسال

---

† نخستین بار رابرت هوک در سال ۱٦٦۴ این لکه را گزارش کرد. در ترسیم‌های شوابه (۱۸۳۱)، داوز (۱۸۵۱)، مایرو لردراس (۱۸۷۰) این لکه وجود دارد. پس رصدهایی سیصد ساله تاریخ لکه سرخ بزرگ را رقم می‌زند. در دهه‌های ۱۸۸۰ و ۱۸۹۰ این لکه کاملاً برجسته و متمایز بود.م

1- Pioneer

اطلاعات مربوط به جو این سیاره پرداخت. مطالعهٔ اقمار مشتری، خاصه اقمار گالیله‌ای، در برنامهٔ این ماهواره مدارگرد بود. *

اطلاعات زیر حاصل پژوهش‌هایی است که به یاری این سفینه‌ها انجام شده است:

۱- میدان مغناطیسی. میدان مغناطیسی این سیاره، بسیار شدید است. انرژی کل این میدان ۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰ برابر انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی زمین است. میدان مغناطیسی مشتری با محور دوران آن زاویهٔ °۱۰ می‌سازد و محور آن در حدود ۸۰۰۰ کیلومتر با مرکز سیاره فاصله دارد.

۲- کمربند ذرات پرانرژی. مشتری دارای کمربند قرص‌مانند بسیار مسطحی از ذرات پرانرژیِ الکترون، پروتون و آلفا است.

۳- چشمهٔ گرمای داخلی. مشتری ۷ر۱ برابر انرژی ای راکه از خورشید دریافت می‌دارد گسیل می‌کند و این حاکی از وجود یک چشمهٔ انرژی داخلی در سیاره است. منبع این انرژی احتمالاً واپاشی رادیواکتیوی و رمبش آرام گرانشی است.

۴- دما در رأس ابرها. در رأس کمربندها، دما در سمت متوجه به خورشید برابر است با دمای سمت دور از خورشید.

۵- هسته. هستهٔ این سیاره یحتمل تماماً جامد است که اقیانوسی از ئیدروژن مایع روی آن قرار دارد، دمای هسته در حدود $^{\circ}C$ ۵۰،۰۰۰ است.

* ٦- لکهٔ سرخ بزرگ مشتری واچرخهٔ (Anticyclone) عظیمی است که جریان عادی نوار راکه به سمت مشرق است، مانع می‌شود. قسمتی از جریان شاره که به وسیلهٔ لکه به مغرب رانده می‌شود، الگوی تلاطمی موجداری را پدید می‌آورد. به علاوه آشکار شده است که لکه‌های سفید کوچک‌تر هم که بر سطح سیاره دیده می‌شود، واچرخه‌هایی کوچک‌تر اند. رنگ سرخ لکهٔ بزرگ احتمالاً معلول وجود فسفین است. تلاطم موجود در لکهٔ بزرگ، فسفین را از سطح سیاره به رأس ابرها می‌آورد. در آنجا تابش فرابنفش خورشید این ماده را به فسفر تجزیه می‌کند. آشکارسازهای فروسرخ سفینه‌های ارسال شده، دمای لکه بزرگ را اندکی کمتر از نواحی مجاور ($-110^{\circ}C$) به دست داده‌اند.

۷- حلقهٔ مشتری. مشتری دارای حلقهٔ نازکی از مواد و سنگریزه‌ها (شبیه حلقهٔ زحل) است. ضخامت این حلقه، در حدود ۳۰ کیلومتر و فاصلهٔ آن از مرکز سیاره بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ هزار کیلومتر است. *

۱۵-۲۰ گسیل امواج رادیویی از مشتری

گسیل امواج رادیویی از مشتری دست کم به سه شکل متمایز صورت می‌پذیرد: (آ) گسیل گرمایی، (ب) گسیل از ذرات پرانرژی و (پ) گسیل ماشه‌ای.

آ. گسیل گرمایی. این تابشی عادی است که از هر جسمی که دمایش بیش از صفر مطلق ($-273\ ^\circ C$) است گسیل می‌شود. شدت این تابش به‌خوبی با دمای $-145\ ^\circ C$ رأس نوارهای سیاره سازگار است.

ب. گسیل از ذرات پر انرژی. گسیل رادیویی در این حالت معلول اثر میدان مغناطیسی قوی بر ذرات پرانرژی کمربندی است که سیاره را احاطه می‌کند. این گسیل خاصه در طول‌موج‌های رادیویی ۱۵ سانتیمتر تا ۱ متر قوی است.

پ. گسیل ماشه ای. شدت این علائم رادیویی بسیار زیاد و طول‌موج آن‌ها در حدود ۹ متر است. این علائم به صورت فوران‌های کوتاه، که هرکدام یکی دو ثانیه دوام می‌آورند، به مدت تقریباً یک ساعت گسیل می‌شوند. دورهٔ تناوب دورانی این «نوفه» رادیویی، که کوتاه‌تر از دورهٔ تناوب علائم سطحی غیراستوایی سیاره است، برابر با ۹ ساعت و ۵۵ دقیقه و ۲۹ ثانیه است.

وقوع این فوران‌های شدید رادیویی از سیاره به‌خوبی با موضع قمر یو[1] مرتبط است. شدیدترین فوران‌ها هنگامی روی می‌دهد که یو در حداکثر دوری، در هر طرف سیاره قرار داشته باشد. یک تعبیر برای این گسیل‌های رادیویی این است که یو تجمعی از ذرات پرانرژی را موجب می‌شود و این تجمع است که این پالس‌ها را گسیل می‌کند.

۱۵-۲۱ ساختمان سیاره

ساختمان کامل این سیاره هنوز شناخته نیست. اما مطالب زیر را می‌توان گفت:

آ. مطالعات طیف‌نگاری حاکی از وجود آمونیاک، متان، ئیدروژن مولکولی (H_2) در جو سیاره است.

گوشزد: آمونیاک (NH_3) ماده‌ای است با بوی تند که اغلب به عنوان ماده تمیزکنندهٔ خانگی به‌کار می‌رود. متان (CH_4) که به «نم آتش» معروف است و ماده اصلی گازهایی است که در معادن ذغال سنگ باعث انفجار می‌شود.

ب. چگالی متوسط سیاره یک چهارم چگالی متوسط زمین است.

اطلاعات دیگری که در میانهٔ سال‌های ۱۹۷۰ به دست آمد منجر به این

1- Io

شده است که مطالب زیر محتمل شمرده شود:

۱- ترکیب شیمیایی سیاره شبیه ترکیب شیمیایی خورشید است، یعنی بخش عمدهٔ آن ئیدروژن است، به علاوهٔ درصد کمی هلیوم (He) و مقادیر اندکی مواد دیگر.

۲- بخش داخلی آن احتمالاً مایع یا جامد است، اما گازی نیست؛ زیرا دما آنقدر زیاد نیست که بتواند بر فشارهای عظیم ناشی از طبقات جو فایق آید. فشار در مرکز سیاره در حدود ۳۲ میلیون جو است. در حال حاضر برای این بخش از داخل سیاره قطری نمی‌توان معین کرد. رقمی که اغلب اوقات گفته می‌شود این است که برابر با قطر سیاره منهای ضخامت ۳۲۰۰ کیلومتری جو آن است.

۳- جو سیاره نیز مانند داخل آن عمدتاً متشکل از $H_۲$ (۸۰درصد)، He (۲۰درصد) و کسرهای ناچیزی $CH_۴$ و $NH_۳$.

* بنابر اطلاعات ارسال شده از سفینه‌های ویه‌جر ۱ و ۲ ترکیب جو مشتری به طور عمده از ئیدروژن است ولی ردیاب‌های فروسرخ این سفینه‌ها از وجود متان ($CH۴$)، اتین ($C۲H۲$) و نیز آمونیاک، آب و فسفین نیز در جو مشتری خبر دادند. مادهٔ اخیر موجب می‌شود که جو مشتری بوی سیر بدهد! احتمالاً رنگ سرخ لکهٔ بزرگ نیز به علت فسفین است.

دوربین‌های سفینه‌ها در جو مشتری جرقه‌های آذرخش را نیز ثبت کردند. وجود آذرخش از این نظر شایان توجه است که سوای خورشید منبع انرژی‌ای به‌شمار می‌آید که در شیمی جو سیاره تأثیر می‌گذارد. *

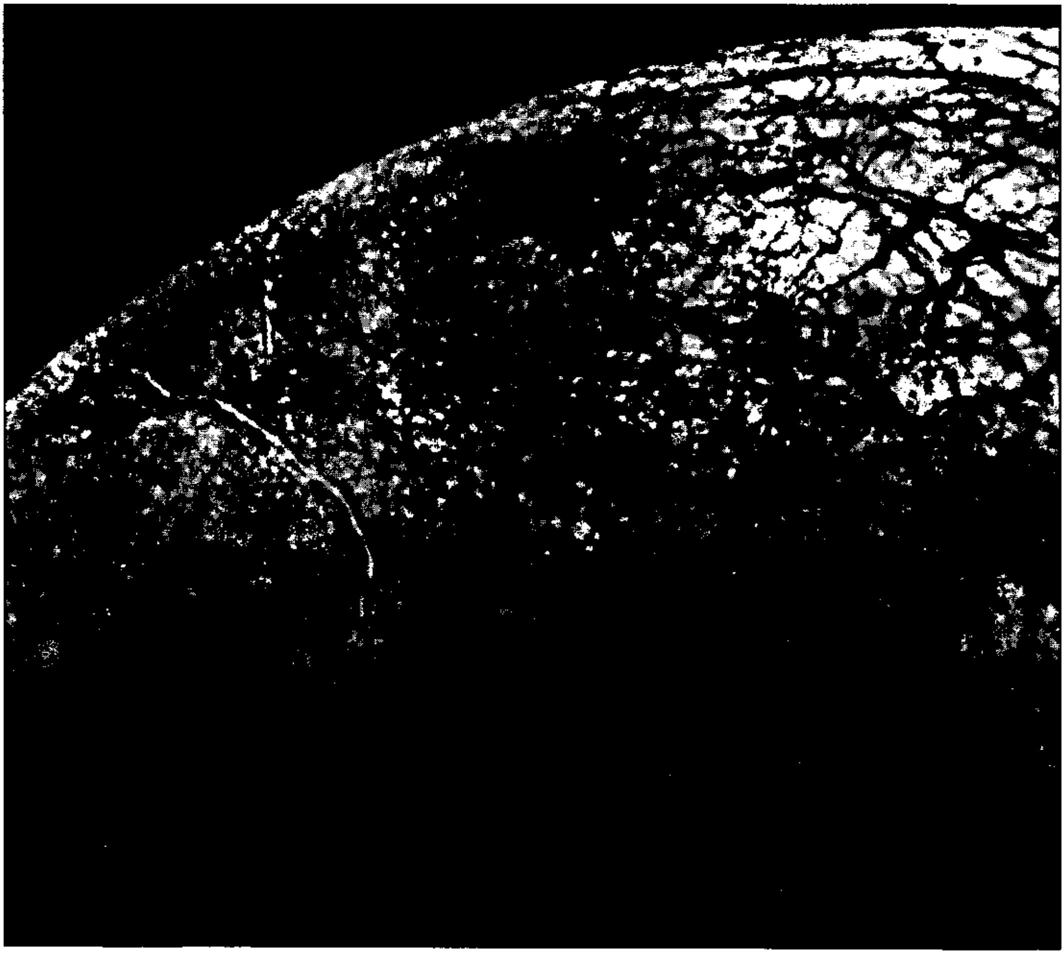
۴- قسمت اعظم آمونیاک احتمالاً به صورت جامد و بلوری است؛ این بلورهای کوچک، نوارهای ابر و یا کمربندها را به‌وجود می‌آورند.

۵- دما در رأس این نوارها $-۱۴۵\ ^{\circ}C$ و فشار در حدود فشار جو زمین در سطح دریا است.

۲۲-۱۵ قمرها

شصت‌وسه ماه بر گِرد مشتری حرکت می‌کنند. از این مجموعه، بیست‌وسه قمر در سال ۲۰۰۳ کشف شدند. چهار قمر بزرگ‌تر که به قمرهای گالیله‌ای موسوم اند در ۱۶۱۰ به وسیلهٔ گالیله کشف شدند. این قمرها با نام‌های یو، اروپا[1]، گانیمید[2]، کالیستو[3] (یا با علائم JIV, JIII, JII, JI) مشخص

1- Europa
2- Ganymede
3- Callisto



عکسی از سطح اروپا، یکی از اقمار گالیله‌ای مشتری، که به وسیلهٔ سفینهٔ پایونیر گرفته شده است. دانشمندان معتقدند که شکست‌ها و شکاف‌های سطحی این قمر نسبتاً جدید است. سطح قمر احتمالاً به طور عمده از یخ و آب است و آبی که از شکاف‌ها نفوذ می‌کند هموار بودن سطح را سبب شده است.

می‌شوند.قمر پنجم آمالته‌آ[1] (یا JV) در سال ۱۸۹۳ به وسیله منجم برجستهٔ آمریکایی ادوارد امرسن بارنارد[2] (۱۹۲۳-۱۸۵۷) کشف شد. قمر چهاردهم (JXIV) را در اکتبر ۱۹۷۵ چارلز.ت.کوال[3] کشف کرد. بیشتر قمرهای مشتری در جهت عقربه‌های ساعت به دور مشتری می‌گردند، که خلاف جهت حرکت بیشتر اقمار منظومهٔ شمسی است. این قمرها به احتمال زیاد، سیارک‌های ربوده شده به وسیلهٔ سیاره اند. قمرهای مشتری به طور طبیعی به سه دسته تقسیم می‌شوند: (آ) اقمار داخلی، (ب) اقمار میانی، (پ) اقمار بیرونی.

(آ) اقمار داخلی. این گروه قمرها JI تا JV یعنی چهار قمر گالیله‌ای و قمری را که پروفسور بارنارد کشف کرد، شامل می‌شود.

قمرهای گالیله‌ای مدارهایی تقریباً مستدیر دارند و در فواصلی بین ۴۲۰،۰۰۰ کیلومتر و ۱،۸۸۰،۰۰۰ کیلومتر از مشتری با دوره‌های تناوبی بین $1\frac{3}{4}$ روز تا $16\frac{2}{3}$ روز حرکت می‌کنند. دورهٔ تناوب حرکت وضعی و انتقالی آن‌ها برابر است. بنابراین ناظری که بر مشتری قرار دارد همواره یک روی این چهار قمر را می‌بیند. هر چهار قمر به اندازهٔ کافی بزرگ اند که در تلسکوپ، قرص‌های قابل مشاهده‌ای را پدید آورند و اگر تلاءلؤ چیرهٔ سیارهٔ اصلی نبود با چشم برهنه می‌شد آن‌ها را دید. در پاره‌ای مواقع هر چهار آن‌ها در طرف غرب سیاره اند. در مواقع دیگر فقط سه تا، دوتا، یکی یا هیچ کدام‌شان و بقیه در طرف شرقی سیاره جای دارند. چه بسا اتفاق می‌افتد که یکی از قمرها در خسوف باشد (از پشت سیاره بگذرد) یا در عبور (از برابر سیاره بگذرد). تغییرات موضع چهار قمر گالیله‌ای را می‌توان با چند ساعت رصد تلسکوپی ملاحظه کرد. دنبال کردن عبور این اقمار دشوار است. اما سایه‌هایی که بر سطح مشتری می‌اندازند بسیار مشخص است و در شرایط «رؤیت» خوب آن‌ها را حتی با تلسکوپ نسبتاً کوچکی می‌توان دنبال کرد.

* یو داخلی‌ترین قمر گالیله‌ای از نظر آتش‌فشانی، فعال است. این قمر که هم اندازهٔ ماه است در هنگام عبور ویه‌جر ۱ از کنار آن، دست کم هشت آتش‌فشان فعال داشت. بیش از ۵۰۰ آتش‌فشان در یو شناسایی شده است که در حدود ۱۰۰ تای آن‌ها فعال اند. یو دارای جوی از گوگرد، اکسیژن و سدیم است. موادی که از آتش‌فشان‌های یو خارج می‌شود احتمالاً منبع موادی است که به صورت چنبره‌ای از پلاسما مشتری را احاطه می‌کند و توسط ویه‌جر ۱ کشف شده است.

1- Amalthea
2- Edward Emerson Barnard
3- Charles T. Kowal

اروپا ظاهراً هموارترین جسم منظومهٔ شمسی است. این قمر به صافی گوی بیلیارد است. گمان می‌رود که سطح این قمر تا ضخامتی در حدود ۱۰۰ کیلومتر عمدتاً از یخ و آب باشد. چگالی اروپا ۳ گرم بر سانتیمترمکعب است.

چگالی گانیمید (۱٫۹ گرم بر سانتیمترمکعب) از چگالی اروپا کمتر است. حدس زده می‌شود که نیمی از وزن این قمر آب باشد. نواحی تاریکی بر سطح قمر وجود دارد که دارای دهانه‌های بسیار است.

چگالی کالیستو از سه قمر دیگر کمتر است. سطح آن دارای دهانه‌های زیادی است. دلایلی در دست است که کالیستو کهنسال‌ترین قمر گالیله‌ای است. نزدیک بودن چگالی‌های کالیستو و گانیمید حکایت از شباهت ترکیب شیمیایی آن دو می‌کند.*

قمر پنجم از چهار قمر گالیله‌ای به مشتری نزدیک‌تر است. فاصلهٔ آن از مرکز سیاره فقط ۱۸۰ هزار کیلومتر و از سطح آن فقط در حدود ۱۱۰ هزار کیلومتر است. دورهٔ تناوب حرکت انتقالی آن حول سیارهٔ اصلی کمتر از ۱۲ ساعت است. بنابراین سرعت مداری آن ۲۷ کیلومتر بر ثانیه یا تقریباً ۹۶ هزار کیلومتر در ساعت است.

(ب). قمرهای میانی. قمرهای JXIII, JX, JVII, JVI به این گروه تعلق دارند. آن‌ها جملگی کوچک اند و قطرهای‌شان کمتر از ۱۶۰ کیلومتر است و به فاصلهٔ متوسط ۱۱ میلیون کیلومتر از مشتری قرار دارند. دورهٔ تناوب حرکت انتقالی آن‌ها در حدود ۲۷۰ روز برآورد شده است.

(پ). قمرهای بیرونی. قمرهای JXI, JXII, JVIII و JIX (که در اینجا به ترتیب افزایش فاصله از سیاره نوشته شده‌اند) از این دسته اند. این قمرها را مشخصات زیر متمایز می‌سازد:

۱- فاصلهٔ زیاد از سیارهٔ اصلی که نزدیک به ۲۴ میلیون کیلومتر برآورد می‌شود.

۲- دوره‌های تناوب طولانی که برای هر چهار قمر بالا از دو سال بیشتر است.

۳- وجود حرکت معکوس (رجعی) برای هر چهار قمر، یعنی حرکت در جهتی خلاف همهٔ سیارات و بیشتر قمرهای دیگر منظومهٔ شمسی. چون از بالای قطب شمال سیاره نظر شود دیده می‌شود که این چهار قمر مدارهای خود را در جهت عقربه‌های ساعت می‌پیمایند.

قسمت چهارم: سیارهٔ زحل (کیوان)

۲۳-۱۵ اطلاعات اساسی

نشانه: ♄

فاصله از خورشید:

کمترین	۱،۳۴۸،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
میانگین	۱،۴۲۷،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۱،۵۰۶،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۰٫۰۵۶۵

زاویهٔ میل مدار با دایرةالبروج: ″۶ر۲۲′۲۹° ۲

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی	۲۹٫۴۶ سال
هلالی	۳۷۸ روز

سرعت مداری: ۹٫۶۴ کیلومتر بر ثانیه

فاصله از زمین: ۱،۱۹۷،۰۰۰،۰۰۰

قطر زاویه‌ای (مقدار متوسط، به هنگام مقابله): ۱۹٫۲۷ ثانیه

قطر:

کمترین (قطبی)	۱۰۷٫۶۳۰ کیلومتر
بیشترین (استوایی)	۱۱۹،۳۲۰ کیلومتر

حجم: ۷۶۴ برابر حجم زمین

جرم: ۹۵ برابر جرم زمین

چگالی: ۰٫۱۲۵ چگالی زمین

شتاب گرانش سطحی: ۱٫۱۹ برابر شتاب گرانش سطحی زمین

سرعت گریز: ۳۶ کیلومتر بر ثانیه

دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور (در استوا): ۱۰ ساعت و ۱۴ دقیقه و ۲۴ ثانیه

زاویهٔ میل استوای سیاره با مدار آن: ′۴۵° ۲۶

دما (در رأس ابرها): $-160\,^{\circ}C$

نسبت بازتاب: ۰٫۴۷

گوشزد: روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به‌کار می‌رود به تفصیل در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۲۴-۱۵ مقدمه

زحل سیارهٔ حلقه‌دار، یکی از سیارات بزرگ، با قطری بزرگ و جرمی زیاد است. از حیث اندازه تنها از مشتری کوچک‌تر است و جرم آن ۹۵ برابر جرم زمین است. چگالی آن، مانند سیارات بزرگ دیگر، کم است؛ کمتر از آب، یعنی می‌تواند بر روی آب شناور شود. (چگالی متوسط آن ۷۱ر۰ چگالی H_2O است).

زحل مانند سیارات دیگر با سرعت زیاد بر گرد محورش می‌گردد و یک دوران کامل را تقریباً در ۵ر۱۰ ساعت انجام می‌دهد. این دورهٔ تناوب برای تمام سیاره یکی نیست. حرکت لکه‌هایی که بر استوای آن قرار دارند حاکی از دورهٔ تناوب ۱۰ ساعت و ۱۴ دقیقه است در حالی که لکه‌های واقع بر $60° N$ یک دوران کامل را در ۱۰ ساعت و ۴۰ دقیقه انجام می‌دهند. نامحتمل نیست که این دو دورهٔ تناوب، دوره‌های تناوب اصلی دوران باشند. عرض جغرافیاییِ خط فارق این دو هنوز معلوم نیست.

مقادیر دورانی که در بالا ذکر شد مربوط به جو بیرونی سیاره است که رأس آن، به علت کدر بودن، تنها «سطح» قابل رؤیت است.

ویژگی زحل به خاطر دستگاه حلقه‌هایی است که آن را احاطه می‌کنند. این حلقه‌ها نخستین بار در سال ۱۶۱۰ به وسیلهٔ گالیله دیده شدند. ژان دومینیک کاسینی[1] (۱۷۱۲-۱۶۲۵) منجم ایتالیایی- فرانسوی نخستین کسی بود که آن‌ها را به روشنی توصیف کرد.

۲۵-۱۵ چه می‌بینیم؟

آ. با چشم برهنه. زحل به چشم برهنه رنگ زرد تیره‌ای دارد. نورش پایدار و همیشه در زمرهٔ پرنورترین اجرام آسمان است. در پرنورترین حالت با ستاره‌ای از قدر کمتر از صفر قابل قیاس است و در کم فروغ‌ترین حالت چون ستاره‌ای از قدر اول می‌نماید. با سرعتی بسیار کندتر از مشتری، صورت‌های فلکی را می‌پیماید و سیاحت منطقةالبروج را در سی سال تمام می‌کند.

ب. با تلسکوپ. از حیث توجهی که راصد متفنن (آماتور) مبذول می‌کند، زحل در مرتبهٔ دوم پس از مشتری قرار دارد. زیرا او بدون دشواری موارد زیر

1- Jean Dominique Cassini

را خواهد یافت:

۱- یخ بودن سیاره.

۲- وجود کمربندهای سطحی. این کمربندها به وضوحِ کمربندهای مشتری نیستند.

۳- لکه‌ها که به فواصل زمانی نامنظم پدیدار می‌شوند. لکهٔ بزرگی که در سال ۱۹۳۳ ظاهر شد و لکهٔ بزرگ سفید نام گرفت، در طی چند ماه دراز شد و به صورت نوار سفیدی به دور سیاره درآمد.

۴- حلقه‌ها که به وضوح تمام دیده می‌شوند. شکاف میان دو حلقهٔ روشن‌تر را که شکاف کاسینی نامیده می‌شود، می‌توان با تلسکوپی کوچک در شرایط مساعد دید.

۵- مشاهدهٔ بزرگ‌ترین قمر زحل، تیتان[1] و قمر بزرگ بعدی یاپتوس[2] آسان است. سه قمر دیگر (رئا[3]، تتیس[4] و دیون[5]) را می‌توان در شرایط بسیار مساعد مشاهده کرد.

* پ. رصدهایی که با سفینه‌های فضایی انجام شده است. نخستین سفینه‌ای که از نزدیکی زحل عبور کرد، پایونیر ۱۱ بود که دو قمر جدید سیاره را کشف کرد (۱۹۷۹). کنارگذر سفینه‌های ویجر ۱ و ۲ نیز اطلاعات مهمی در مورد اقمار یخ زدهٔ زحل در اختیار ما گذاشت. سفینهٔ کاسینی، به قصد خاص مطالعهٔ زحل و اقمار آن در سال ۱۹۹۷ پرتاب شد و در سال ۲۰۰۴ به این سیاره رسید. کاسینی اولین سفینه‌ای است که بر گرد زحل به گردش درآمد. از این سفینه کاوهٔ هویگنس جدا شد و بر تیتان قمر بزرگ زحل فرود آمد.

بررسی‌های حاصل نشان داد که ساختار حلقه‌های زحل بسیار پیچیده‌تر از آن است که تصور می‌شد؛ معلوم شد که جو تیتان بسیار غلیظ است. به علاوه کاسینی، لکهٔ داغی به قطر ۵۰۰ کیلومتر و دهانه‌ای به قطر ۴۰۰ کیلومتر را بر این قمر رصد کرد. *

۲۶-۱۵ ساختمان سیاره

ساختمان زحل به احتمال زیاد بسیار شبیه ساختمان مشتری است:

آ. در اینجا نیز عنصر اصلی ئیدروژن است.

ب. طیف‌نما نشان می‌دهد که در جو سیاره

1- Titan
2- Iapetus
3- Rhea
4- Tethys
5- Dione

۱. CH_4 وجود دارد؛

۲. با آن که آمونیاک (NH_3) وجود دارد خطوط مربوط به آن دیده نمی‌شود. تمام آمونیاک سیاره، بر اثر دمای کم زحل، احتمالاً به صورت جامد بلوری در نوارهای ابرها جای دارند و در طیف‌نما ظاهر نمی‌شوند.

پ. طیف‌نما هیچ خطی را که مربوط به ئیدروژن مولکولی (H_2) باشد نشان نمی‌دهد. اما دلایل خوبی وجود دارد حاکی از این که H_2 در جو زحل موجود است. یکی از این قراین مشابهت زحل است با مشتری که ۸۰ درصد جو آن متشکل از این گاز است. مواد دیگر جو این سیاره استیلن، اتان، فسفین و بخار آب است.

ت. دما در رأس نوارهای ابر (یا کمربندها) C° ۱۶۰- است.

* ث. زحل دارای هسته‌ای است به اندازهٔ زمین که آکنده از آهن است و پوششی از ئیدروژن فلزی مایع آن را دربرگرفته است. در این پوشش است که میدان مغناطیسی سیاره به وجود می‌آید. این میدان، از میدان مغناطیسی مشتری ضعیف‌تر است. *

۲۷-۱۵ حلقه‌ها

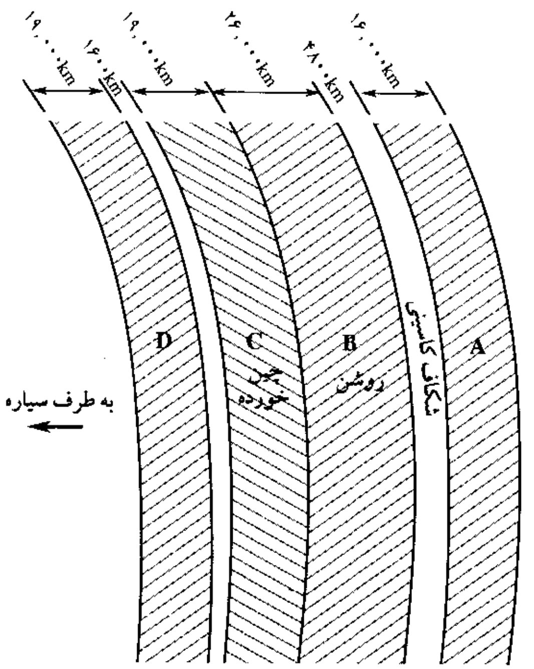
چهار حلقهٔ اصلی بر گرد زحل می‌گردند که با حروف D، C، B، A، مشخص می‌شوند. ابعاد آن‌ها و نیز شکاف میان آن‌ها در شکل (آ) ۲۷-۱۵ نشان داده شده است.

نور و روشنی حلقه‌ها به وجه قابل ملاحظه‌ای با هم تفاوت دارند. حلقهٔ میانی (حلقهٔ B) از همه پرنورتر است و حلقهٔ بیرونی (حلقه A) پس از آن جای دارد. کم نورترین حلقه، حلقهٔ داخلی (حلقهٔ D) است. حلقهٔ C را «حلقهٔ چین خورده» [C(repe)ring] و حلقهٔ B را «حلقهٔ پرنور» [B(right)ring] می‌نامند.

شکاف میان حلقه‌های B و A را به افتخار کاشف آن شکاف کاسینی نامیده‌اند.

حلقه‌ها به خاطر نازکی‌شان سخت شایان توجه اند: مقطع آن‌ها مستطیل بسیار باریکی است. مثلاً مقطع حلقه بیرونی مستطیلی است به طول ۱۶،۰۰۰ کیلومتر و عرض ۸ تا ۱۰ کیلومتر.

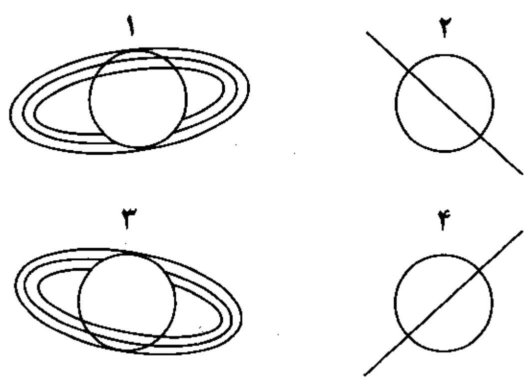
حلقه‌ها درست در صفحهٔ استوای سیاره قرار دارند و استوای سیاره زاویهٔ میلی برابر با $^\circ$۲۷ با صفحهٔ دایرةالبروج می‌سازد. از آن رو که محور زحل امتداد ثابتی در فضا دارد (یعنی محور همیشه به سمت نقطهٔ ثابتی بر کرهٔ آسمان



شکل (آ)۲۷-۱۵ حلقه‌های زحل. منظرهٔ زحل از بالا به وضوح تمام چهار حلقه و نیز شکاف‌های بین آنها را نشان می‌دهد. عرض حلقه‌ها به ترتیب ۱۹،۰۰۰، ۲۶،۰۰۰، ۱۶،۰۰۰ و ۱۹،۰۰۰ کیلومتر است. حلقهٔB از همه پرنورتر است و پس از آن به ترتیب روشنی A، C و D قرار دارند. شکاف ۴۸۰۰ کیلومتری میان حلقه‌های A و B به شکاف کاسینی معروف است.

است) ناظران زمینی می‌توانند حلقه‌ها را تحت زوایای گوناگون ببینند. این مطلب در چهار قسمت شکل (ب)۲۷-۱۵ نشان داده شده است.

قسمت ۱ منظرهٔ حلقه‌ها را در ۱۹۵۷ نشان می‌دهد که سطح زیرین حلقه‌ها در امتداد خط دید بود. قسمت ۲ منظرهٔ آن‌ها در ۱۹۶۵ است، حلقه‌ها از پهلو دیده شدند و به صورت خطی بودند که از میان سیاره گذشته باشد. در ۱۹۷۱، قسمت ۳، سطح بالایی در معرض دید بود و قسمت ۴ شکل حلقه‌ها را در ۱۹۸۰ نشان می‌دهد.



شکل (ب)۲۷-۱۵ چهار وضعیت از حلقه‌های اورانوس.

۱- ۱۹۵۷. نمای جنوبی حلقه‌ها دیده می‌شود.

۲- ۱۹۶۵. حلقه‌ها از پهلو دیده می‌شوند. به علت نازکی فوق‌العاده، لبهٔ آنها تصور یک خط مستقیم نازک را به‌وجود می‌آورد.

۳- ۱۹۷۱. نمای بالای حلقه‌ها رو به زمین است.

۴- ۱۹۸۰. لبهٔ حلقه‌ها باز هم در خط دید ناظران زمینی است. اما زاویهٔ میل آن با حالت سال ۱۹۶۵ فرق می‌کند.

گوشزد: وسیع‌ترین سیمای شمالی زحل در ۱۹۸۹دیده شد. عرض ظاهری حلقه‌ها در آن زمان تقریباً نصف طول آن‌ها بود. وقتی که حلقه‌ها باز و گشوده‌اند، زحل در روشن‌ترین وضع خود است؛ حلقه‌ها نور را دو برابر بیش از خود سیاره منعکس می‌کند.

یک دورهٔ کامل اهلهٔ حلقه‌های زحل ۵ر ۲۹ سال طول می‌کشد و این دورهٔ تناوب حرکت انتقالی زحل به دور خورشید است.

تصور می‌شود که حلقه‌های زحل از تعداد بی‌شماری ذرات خرد به اندازهٔ دانه‌های شن یا قلوه سنگ ریز تشکیل شده باشد. این گمان بر دو واقعیت مبتنی است: (آ) حلقه‌ها نیمه‌شفاف اند؛ گه گاه می‌توان ستاره‌ای را از خلال آن‌ها دید. (ب) بخش داخلی هرکدام در زمانی کوتاه‌تر از بخش خارجی به دور سیاره می‌گردد: اگر حلقه‌ها جامد یا مایع بودند، دورهٔ تناوب دوران هر حلقه ثابت می‌بود.

شکاف‌های میان حلقه‌ها معلول تشدید گرانشی است. در اینجا تشدید میان قمرهای زحل و شن یا قلوه سنگ متحرک است. ذرات خرد در بیرون مدارهایی قرار می‌گیرند که کسر ساده‌ای از دورهٔ تناوب قمر است. هیچ ذره‌ای در شکاف بین حلقه‌های A,B حرکت نمی‌کند، زیرا دورهٔ تناوب چنین حرکتی دقیقاً نصف دورهٔ تناوب میماس [1]، نزدیک‌ترین قمر به سیاره است. این پدیده نظیر اثر مشتری بر سیارک‌ها است (به بخش ۱۴-۱۵ نگاه کنید).

* عکس‌هایی که به وسیلهٔ سفینه‌های ویجر ارسال شد نشان داد که حلقه‌های زحل دستگاه‌های پیچیده‌ای از حلقه‌های اصلی و فرعی اند که تعدادشان به‌راستی زیاد است. در واقع دستگاه حلقه‌های زحل به یک صفحهٔ گرامافون بیشتر شباهت دارد یا چند حلقهٔ مشخصِ مجزا. این عکس‌ها حتی نشان دادند که شکاف تاریک کاسینی نیز خود متشکل از چندین حلقه است. حلقهٔ مشخصی که در منتهاالیه بیرونی دستگاه حلقه‌ها کشف شد، حلقه F نام گرفت. این حلقه به فاصلهٔ تقریبی ۰۰۰، ۸۰کیلومتر از رأس ابرهای زحل قرار دارد و قراینی بر وجود آن نیز از پایونیر ۱۱ به دست آمده بود. سفینه‌های فضایی قمرهای کوچکی را در نزدیکی یا در داخل حلقه‌ها یافته‌اند. این قمرها در پایداری حلقه‌ها واجد اهمیت اند. *

اکنون عقیده بر این است که حلقه‌ها یا بقایای قمری هستند که بر اثر نیروهای کشندی سیارهٔ اصلی از هم گسیخته است و یا قمری که هرگز به طور

1- Mimas

کامل تکوین نیافته است: در مورد اول فرض می‌شود که قمری بسیار نزدیک به زحل بر اثر نیروهای کشندی تکه پاره شده است؛ و در مورد دوم فرض می‌شود که نیروهای کشندی مانع از آن شده‌اند که از این مواد (که باید قمری را تشکیل می‌داده‌اند) قمری پدید آید.

تجزیه و تحلیل ریاضی این فرض‌ها را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که هیچ قمری نمی‌تواند از ۴۴ر۲ برابر شعاع سیاره بدان نزدیک‌تر شود و یا در داخل فاصله ۴۴ر۱ برابر شعاع از سطح سیاره قرار گیرد. این ارقام را به افتخار اِدوار روش[1] (۸۳-۱۸۲۰) دانشمند فرانسوی که آنها را در ۱۸۵۰ کشف کرد، «حد روش» می‌خوانند.

* نظریه جدیدتری نیز توسط یوجین شومیکر[2] ارائه شده است. او نشان داده است که اگر قمر کوچکی در داخل حد روش در برخورد با شهابواره‌ای خرد و تکه پاره شود، بقایایش به سرعت حلقه‌ای را پدید می‌آورند.

بنابراین اقمار داخل حلقه، قطعات بزرگ‌تر سنگ‌هایی اند که از نابودی قمرهای اولیه برجا مانده‌اند. *

۲۸-۱۵ قمرها

* زحل ۴۷ قمر داردکه پانزده تای آن‌ها در سال ۲۰۰۴ میلادی کشف شد. قمرهای بزرگ زحل به ترتیب فاصله از سیاره عبارت اند از میماس، انسلادوس، تتیس، دیون، رِئا، تیتان و یاپتوس. میماس، در فاصلهٔ ۱۸۸،۰۰۰ کیلومتری از مرکز سیاره است. فوب[3] دورترین قمر زحل متجاوز از ۱٦،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر از سیاره اصلی فاصله دارد. *

دورهٔ تناوب قمرها از ۱۴ ساعت برای پان تا ۵۵۰ روز برای فوب تغییر می‌کند و جز یک استثنا همگی در جهت عادی به دور زحل می‌گردند. تنها فوب است که حرکتی معکوس (رجعی) دارد و بدین طریق بر پایداری مداریش می‌افزاید. می‌توان از راه ریاضی نشان داد که قمری دوردست را که جهت حرکتش عادی است به سهولت بیشتری می‌توان از چنگ سیاره‌ای ربود تا قمری را که جهت حرکت آن معکوس است.

قطر بیشتر قمرها نسبتاً کم و در حدود چند ده کیلومتر است. بزرگ‌ترین قمر زحل تیتان است (در حدود ۵،۱۵۰ کیلومتر).

سرعت گریز گاز از تیتان به خاطر جرم بزرگ و دمای کم آن (به خاطر

1- E. Roche

2- Eugene Shoemaker

3- Phoebe

دور بودن از خورشید) کوچک است. از این رو این قمر دارای جو است. * مطالعات طیف‌نمودی حاکی از وجود عناصر نیتروژن (۸۵درصد) و آرگن و ئیدروکربن‌هایی چون متان، اتان، پروپان واتین و نیز ترکیباتی چون ئیدروژن سیانید و سیانوژن در این قمر است.*

مطالعاتی که اخیراً به وسیلهٔ گروهی از دانشمندان در دانشگاه ایالتی نیویورک در استونی بروک[1] انجام شده، وجود اتان را در تیتان آشکار کرده است. اتان یکی از چند مولکول لازم برای تشکیل اسیدهای امینه است که از اجزاء اساسی حیات اند.

چنین به نظر می‌رسد که بیشتر قمرها با همان دورهٔ تناوبی دوران می‌کنند که به دور سیاره می‌گردند و در نتیجه همیشه یک روی‌شان به سمت سیارهٔ اصلی است و تغییرات روشنی آن‌ها نیز حاکی از همین است. دورهٔ تناوب این تغییرات روشنی همان دورهٔ تناوب گردش انتقالی است. روشنی یکی از قمرها، یاپتوس، در هر گردش از می‌نیموم به ماکزیموم، ۵ برابر می‌شود.

قسمت پنجم: سیارهٔ اورانوس

۱۵-۲۹ اطلاعات اساسی

نشانه: ♅

فاصله از خورشید:

کمترین	۲،۷۳۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
میانگین	۲،۸۷۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۳،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۰٫۰۴۶

زاویهٔ میل مدار با دایرة‌البروج: ۰° ۴۶′ ۲۳٫۱″

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی	۸۴٫۰۱ سال
هلالی	۳۶۹٫۶٦ روز

سرعت مداری: ۶٫۸ کیلومتر در ثانیه

قطر زاویه‌ای (متوسط، به هنگام مقابله): ۳٫۵۸°

قطر:

1- Stony Brook

کمترین (قطبی) ۴۹،۹۵۰ کیلومتر
بیشترین (استوایی) ۵۱،۱۰۰ کیلومتر
حجم: ٦۲ برابر حجم زمین
جرم: ٦ر۱۴ برابر جرم زمین
چگالی: ۲۳ر۰ برابر چگالی زمین
شتاب گرانش سطحی(در استوا): ۸ر۰ برابر شتاب گرانش سطحی زمین
سرعت گریز: ۵ر۲۲ کیلومتر بر ثانیه
دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۱۷ ساعت و ۱۴ دقیقه
زاویهٔ میل استوای سیاره با صفحهٔ مدار: '۵۳ °۹۷
دما: $-212\,^{\circ}C$
نسبت بازتاب: ۵۰ر۰

گوشزد: روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به‌کار رفته است به تفصیل دربخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۳۰-۱۵ مقدمه

اورانوس که نامش از رب‌النوعی گرفته شده است که از خائوس (آشوب) برخاست و تجسم آسمان شد، از قدر ظاهری ۷ر ۵است؛ از این رو به دشواری بسیار در شرایط بسیار مساعد می‌توان آن را با چشم برهنه دید. کم‌سویی آن معلول فاصلهٔ زیادش، هم از خورشید است که بر آن نور می‌افکند و هم از زمین که از آن رؤیت می‌شود.

اورانوس در آسمان همان مسیری را می‌پیماید که سیارات دیگر می‌پیمایند، اما حرکت ظاهری آن نسبتاً کند است و هر گردش کامل به دور خورشید را تقریباً در ۸۴ سال تمام می‌کند. حرکت آن از افق غربی زمین به جانب افق شرقی در حدود ۴ درجه در هر سال است.

این سیاره شباهت زیادی به سیارات بزرگ دیگر، مشتری و زحل و نپتون دارد. جو آن هم به احتمال زیاد متشکل است از آمیزه‌ای از آمونیاک، متان و ئیدروژن. درصد آمونیاک در قیاس با متان و خاصه ئیدروژن نسبتاً کم است.

اورانوس در تلسکوپ به سبب وفور متان، قرصی سبز رنگ به چشم می‌آید.

گه‌گاه لکه‌های سفیدی بر سطح سیاره پدیدار می‌شود. این لکه‌ها برای تعیین دورهٔ تناوب دوران مفید اند.

عکس‌های بسیار خوبی که با بالون بی‌سرنشین استراتوسکوپ[1] II گرفته شد یخ بودن اورانوس و نیز تیرگی کناره‌ای در آن را نشان داد. بر این عکس‌ها هیچ علائم نواری پایداری مشاهده نشد. ولی تصویرهایی که به وسیلهٔ ویه‌جر ۲ و تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده حاکی از وجود ساختاری نواری، شبیه مشتری و زحل، در اورانوس است.

* رصدهای دقیق در سال ۱۹۷۸ نشان دادند که اورانوس نیز مانند زحل دارای دستگاهی متشکل از ۹ حلقه است. بعداً دو حلقهٔ دیگر کشف شد. این حلقه‌ها را شکاف‌های وسیعی از هم جدا می‌کند. حلقه‌ها در فاصله ۵ر۱ تا ۲ برابر شعاع سیاره قرار دارند. حلقه‌های اورانوس در همان صفحهٔ قمرهای آن است. *

اورانوس از چندین جهت در میان سیارات منحصر به فرد است.

آ. نخستین سیاره‌ای است که به کمک تلسکوپ کشف شد.

ب. کشف آن بر حسب تصادف بود.

پ. دوران آن بر گرد محورش «معکوس» (یعنی در جهت عقربه‌های ساعت) است.

ت. صفحهٔ استوای آن تقریباً عمود بر صفحه مدار است. مقدار دقیق زاویهٔ بین دو صفحه °۸۲ است.

۳۱-۱۵ کشف

سیارهٔ اورانوس در ۱۳ مارس ۱۷۸۱ به وسیلهٔ سر ویلیام هرشل انگلیسی که موسیقیدانی حرفه‌ای و منجمی متفنن بود با تلسکوپ بازتابی کوچک ۱۸ سانتیمتری ساخت خودش کشف شد. اورانوس در چنین تلسکوپی به صورت قرص بسیار کوچکی است که اندک تفاوتی با یک ستارهٔ معمولی دارد. اما این تفاوت اندک در اندازه، کافی بود تا هرشل شک کند که این شئ یک ستاره است؛ داده‌های او تأیید کرد که سیاره‌ای جدید کشف شده است که به فاصلهٔ ۱۹ واحد نجومی برگرد خورشید می‌گردد.

۳۲-۱۵ دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور

چرخش اورانوس، برخلاف سیارات دیگر که در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به دور خورشید و نیز به دور محورشان می‌گردند، «معکوس» یا رجعی است. اورانوس خورشید را در جهت عادی یعنی در خلاف جهت

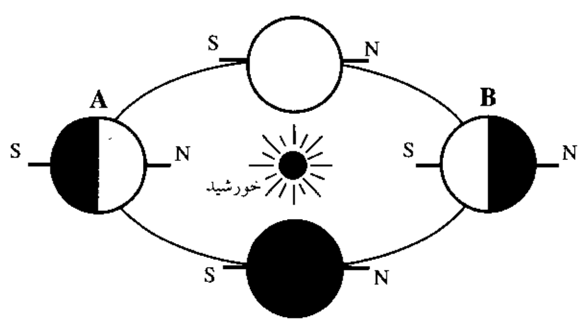
1- Stratoscope

عقربه‌های ساعت دور می‌زند، اما دوران آن به دور محورش در جهت عقربه‌های ساعت است و استوای سیاره با مدار آن به دور خورشید زاویهٔ °۸۲ می‌سازد. طریق دیگری نیز معمولاً برای توصیف دوران سیاره به کار می‌رود، به این معنی که بگوییم استوای سیاره زاویهٔ °۹۸ با صفحهٔ مدار می‌سازد. بدین طریق قطب‌های شمال و جنوب اولیه معکوس می‌شود و آن‌گاه جهت چرخش حول محور عادی است و نه رجعی است.

برای آن که تصویر روشن‌تری از آثار این زوایای بزرگ °۸۲ یا ۹۸ درجه برای اورانوس داشته باشیم، نتایج این زوایای میل بزرگ را برای زمین مطالعه می‌کنیم.

فرض کنید که استوای زمین به جای °۲۳٫۵ زاویهٔ °۹۰ با مدار آن بسازد، یعنی محور زمین در صفحهٔ مدار آن قرار داشته باشد.

زمانی خواهد بود که قطب شمال کنونی نزدیک‌ترین نقطه به خورشید است و شش ماه دیگر قطب جنوب نور خورشید را به طور مستقیم و قائم دریافت می‌کند. چنان که می‌دانیم دیگر مفهوم مناطق اقلیمی قابل اطلاق نخواهد بود. به شکل (آ) ۳۲-۱۵ نگاه کنید.



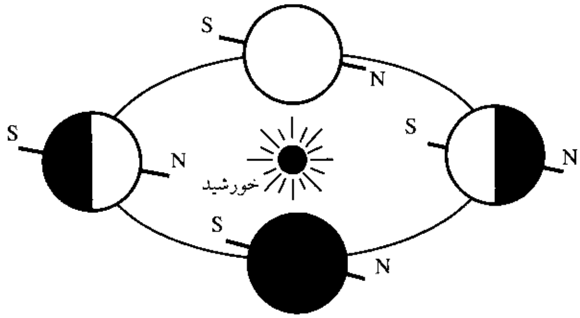
شکل (آ) ۳۲-۱۵ اثر میل زیاد (فرضی) محور زمین. اگر محور زمین زاویهٔ °۹۰ (و نه °۲۳٫۵ که واقعاً می‌سازد) با محور مدارش می‌ساخت، زمانی در طی سال قطب شمال گرم‌ترین مکان روی زمین بود (وضعیت A). شش ماه بعد آفتاب به طور قائم بر قطب جنوب می‌تابید و آن نقطه گرم‌ترین مکان روی زمین می‌شد (وضعیت B).

سپس فرض کنید که این زاویه اندکی بیشتر، مثلاً °۹۸ شود. قطب شمال اولیه در زیر دایرةالبروج خواهد بود. ایالات متحده درنیمکرهٔ جنوبی خواهد بود. کالیفرنیا در ساحل شرقی. دیدی قائم از بالای دایرةالبروج نشان خواهد داد که زمین در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد، یعنی حرکت رجعی است. به شکل (ب) ۳۲-۱۵ نگاه کنید.

۱۵-۳۳ قمرها

اورانوس بیست و هفت قمر دارد. پنج قمر بزرگ آن عبارت اند از: میراندا[1]،

1- Miranda



شکل (ب) ۳۲-۱۱۵ اگر محور زمین بیش از °۵ر۲۳ کنونی، مثلاً °۹۸ مایل بود، قطب‌ها هویت خود را عوض می‌کردند. قطب شمال زیر صفحهٔ دایرةالبروج قرار مـی‌گرفت و در نـتیجه قـطب جـنوب شمرده می‌شد. ناظری که از قطب شمال جدید (قطب جنوب کنونی) نگاه می‌کرد زمین را می‌دید کـه در جـهت حـرکت عقربه‌های ساعت دوران مـی‌کند.دوران در جـهت حـرکت عـقربه‌های سـاعت، وضع عادی برای قطب جنوب است.

آریل [۱]، اومبریل [۲]، تیتانیا [۳] و ابرون [۴]، که همگی در صفحهٔ استوای سیاره اصلی و در نتیجه تقریباً قائم بر مدار سیاره، بـه دور آن مـی‌گردند. هـر پـنج قـمر حرکت‌شان رجعی است که با چرخش سیاره حول محورش سازگار است.

* اندازهٔ اقمار اورانوس تـقریباً از چـند ده کـیلومتر تـا ۱۵۰۰ کـیلومتر است.بزرگ‌ترین قمر اورانوس تیتانیا به شعاع ۱،۵۸۰ کیلومتر و قمر بعدی به لحاظ بزرگی، ابرون به شعاع ۱،۵۲۰ کیلومتر است. شعاع مدار قمرها بین ۵۰ هزار تا ۱۸ میلیون کیلومتر است. تیتانیا به فاصلهٔ ۴۳۶ هزار کیلومتر و ابرون به فاصلهٔ ۵۸۰،۰۰۰ کیلومتر است.

سفینهٔ ویه‌جر ۲ در سفر بی‌پایان خود به نواحی دوردست منظومه شمسی، از نزدیکی اورانوس عبور کـرد و عکس‌هـای واضـحی از پـنج قـمر بـزرگ اورانوس به زمین فرستاد به‌علاوه از ده قمر خرد این سیاره نیز عکس‌برداری کرد. بر سطح تیتانیا آثار شکستگی و شکافتگی مشهود است ولی از جریان‌های شاره‌ای اثری دیده نمی‌شود. سطح ابرون آکنده از دهانه است.*

قسمت ششم: سیاره نپتون

۱۵-۳۴ اطلاعات اساسی

نشانه: ♆

فاصله از خورشید:

کمترین ۴،۴۴۵،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

1- Ariel
2- Umbriel
3- Titania
4- Oberon

میانگین ۴،۴۹۵،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین ۴،۵۴۵،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۰ر۰۱۱

زاویهٔ میل مدار با دایرةالبروج: ″۵ر۲۳ ′۴۶ °۱

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی ۸ر۱۶۴ سال
هلالی ۴۹ر۳۶۷ روز

سرعت مداری: ۵ر۵ کیلومتر بر ثانیه

قطر زاویه‌ای (مقدار متوسط، به هنگام مقابله): ″۱۳ر۲ ′۰ °۰

قطر:

کمترین (قطبی) ۴۸،۷۰۰ کیلومتر
بیشترین (قطبی) ۴۹،۵۰۰ کیلومتر

حجم: ۵۷ برابر حجم زمین

جرم: ۲ر۱۷ برابر جرم زمین

چگالی: ۳ر۰ چگالی زمین

شتاب گرانش سطحی: ۱۸ر۱ برابر گرانش سطحی زمین

سرعت گریز: ۲۵ کیلومتر بر ثانیه

دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۱۶ ساعت و ۷ دقیقه

زاویهٔ میل استوای سیاره با مدار: ′۴۸ °۲۸

دما: ‎-۲۱۳ °C

نسبت بازتاب: ۴۲ر۰

گوشزد: روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به‌کار می‌رود به تفصیل در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۳۵-۱۵ مقدمه

نپتون به خاطر فاصلهٔ زیادش از زمین با چشم برهنه دیده نمی‌شود. رصدهای تلسکوپی قرص کوچک سبز رنگی را نشان می‌دهد که از لحاظ روشنی معادل ستاره‌ای از قدر هشتم است. صدوشصت‌وپنج سال طول می‌کشد تا نپتون یک گردش کامل را به دور خورشید بپیماید. حرکت آن به سمت مشرق، در میان ستارگان اندکی بیشتر از °۲ در سال است.

تنوع فصول در آن اندک است: با دمای متوسط ‎-۲۱۲ °C تابستانش

چندان گرم‌تر از زمستان نیست.

نپتون نخست از طریق محاسبات ریاضی کشف و سپس با رصد عملی دیده شد.

۱۵-۳۶ کشف نپتون

منجمان، نخست از آن رو به وجود نپتون شک بردند که اورانوس حرکات عجیبی در مدار خود می‌کرد. در ۱۸۴۵ اختلاف میان مواضع حساب شده و رصد شدهٔ اورانوس به ۲ دقیقه رسیده بود که در نجوم «کمیت بسیار بزرگی» است. یکی از توضیح‌ها این بود که حرکت اورانوس به وسیلهٔ سیارهٔ ناشناختهٔ دیگری در فراسوی مدار آن، پریشیده می‌شود به قسمی که وقتی پیشاپیش آن است اورانوس را می‌کشد و در نتیجه بر سرعتش می‌افزاید و هنگامی که در عقب آن است با کشش گرانشی خود حرکت آن را کند می‌کند.

جان کاوچ آدامز[1] (۱۸۹۲-۱۸۱۹) که در میانهٔ دههٔ ۱۸۴۰ دانشجوی دانشگاه کمبریج (انگلستان) بود و اوربن لووریه[2] (۱۸۷۷-۱۸۱۱) ریاضی‌دان جوان فرانسوی مدار این سیارهٔ فرضی را محاسبه کردند و به نتایج واحدی رسیدند. درست یک ساعت پس از آن که تجسس با تلسکوپ آغاز شد، سیاره دقیقاً در موضعی دیده شد که محاسبات ریاضی پیش‌بینی کرده بود.

۱۵-۳۷ ساختمان سیاره

نپتون هم از حیث اندازه و هم از نظر ویژگی‌های فیزیکی دیگر شبیه اورانوس است؛ در حقیقت این دو را توأمان یکدیگر می‌شمارند. احتمالاً ساختمان این سیاره نیز شبیه ساختمان اورانوس، زحل یا مشتری است.

مقدار بزرگ نسبت بازتاب سیاره حاکی از آن است که نپتون جوی غلیظ دارد. مطالعات طیف‌نمودی وجود نوارهای قوی متان و نیز خطوط جذبی ئیدروژن ملکولی را در این سیاره نشان می‌دهد.

ئیدروژن ۸۰ درصد و هلیوم ۱۹ درصد جو سیاره را تشکیل می‌دهد.

* در دیداری که ویه‌جر ۲ در سال ۱۹۸۹ از این سیاره کرد، چندین لکه سیاه بر این سیاره رصد شد. ولی در مشاهدات بعدی با تلسکوپ فضایی هابل این لکه‌ها ناپدید شده بودند. جو آبی رنگ نپتون، مانندمشتری و زحل و اورانوس ساختاری نواری دارد. ولی در این سیاره نوارها بسیار کم‌فروغ و ضعیف اند. سیاره دارای میدان مغناطیسی بسیار نامتقارنی است که توسط سفینهٔ

1- John Couch Adams
2- Urbain Leverrier

ویه‌جر ۲ کشف شد.*

۱۵-۳۸ قمرها

نپتون ۱۳ قمر دارد. قمر بزرگ آن تریتون[1] است، که به فاصلهٔ چند ماه پس از کشف سیاره، دیده شد؛ قمر دوم بیش از یک قرن بعد کشف شد.

تریتون از این نظر منحصر به فرد است که تنها قمر نزدیک به سیارهٔ اصلی است که حرکتی معکوس (رجعی) دارد. فاصلهٔ آن از سیارهٔ اصلی ۳۵۴،۰۰۰ کیلومتر تقریباً هم اندازهٔ فاصلهٔ ماه از زمین، است. حرکت معکوس تریتون ممکن است معلول وقایع زیر باشد: (آ) تریتون و پلوتون زمانی قمرهای نپتون بودند و هردو حرکت مستقیم داشتند. (ب) رویارویی نزدیک میان تریتون و پلوتون موجب دفع و اخراج پلوتون (که سیاره‌ای مستقل شد) و معکوس شدن جهت حرکت تریتون شده است.

قطر تریتون ۲،۷۰۰ کیلومتر و جرم آن یک پانزدهم جرم زمین است؛ و هر پنج روز و بیست ساعت یک بار در مداری که با صفحهٔ دایرةالبروج زاویهٔ $37°$ می‌سازد، به دور نپتون می‌گردد.

نرئید[2] (در اساطیر، پری دریایی ملازم نپتون رب‌النوع دریا) قمر دوم نپتون به دور سیارهٔ اصلی در جهت مستقیم حرکت می‌کند. دورهٔ تناوب نجومی آن ۳۶۰ روز است و مدار آن زوایهٔ $5°$ با دایرةالبروج می‌سازد. قطر آن ۳۴۰ کیلومتر است.

نرئید از دو نظر منحصر به فرد است: (آ) به قدری کم فروغ است که حتی با تلسکوپ‌های بزرگ هم دیده نمی‌شود. رصد این قمر به طور عمده از طریق عکس‌برداری صورت می‌پذیرد. (ب) مدار آن خروج از مرکز بزرگی دارد (۰٫۷۵). فاصله‌اش تا نپتون از ۱،۱۷۵،۰۰۰ کیلومتر در نزدیک‌ترین وضعیت تا ۱۱،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر در دورترین نقطهٔ مدار تغییر می‌کند.

* پروتئوس، قمری است اندکی بزرگ‌تر از نرئید. این قمر، کروی نیست، به سیاره نزدیک‌تر است. اقمار کوچک‌تر نپتون، ابعادی از مرتبهٔ چند ده کیلومتر دارند.

نپتون نیز مانند سیارات بزرگ دیگر، چند حلقه دارد. توزیع مواد در آن‌ها نایکنواخت است. در حلقه‌های نپتون اجرامی از ابعاد متر و کیلومتر هم دیده می‌شود.*

1- Triton
2- Nereid

قسمت هفتم: سیارهٔ پلوتون

۱۵-۳۹ اطلاعات اساسی

نشانه: ♇

فاصله از خورشید:

کمترین	۴،۴۲۵،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
میانگین	۵،۹۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر
بیشترین	۷،۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر

خروج از مرکز مدار: ۲۵ر۰

زاویهٔ میل مدار با دایرةالبروج: ۱′ ۱۷°

دورهٔ تناوب حرکت انتقالی به دور خورشید:

نجومی	۰ر۲۴۸ سال
هلالی	۳٦۷ روز

سرعت مداری: ۷ر۴ کیلومتر بر ثانیه

قطر زاویه‌ای: ″۲۵ر۰ ′۰ °۰

قطر: ۲۳۰۰ کیلومتر

حجم: ۰۰۷ر۰ حجم زمین

جرم: ۰۰۲ر۰ جرم زمین

چگالی: ۳۲ر۰ برابر چگالی زمین

شتاب گرانش سطحی: ۰٦ر۰ شتاب گرانش سطحی زمین

سرعت گریز: ۱ر۱ کیلومتر بر ثانیه

دورهٔ تناوب حرکت وضعی به دور محور: ۳۹ر٦ روز

دما: ‎−۲۴۰ °C

نسبت بازتاب: ۵۵ر۰

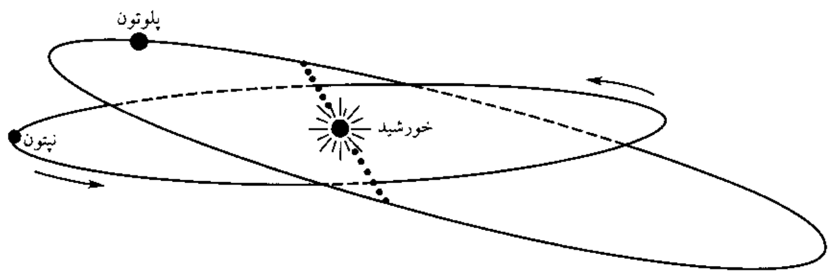
گوشزد: روش‌هایی که برای استنتاج داده‌های بالا به‌کار رفته به تفصیل در بخش‌های ۳۴-۱۱ تا ۵۲-۱۱ آمده است.

۱۵-۴۰ مقدمه

نهمین و دورترین سیارهٔ شناخته شده پلوتون است که نامش از رب‌النوع اساطیری دنیای زیرِ زمین گرفته شده است. فاصلهٔ متوسط آن از خورشید در

حدود شش هزار میلیون کیلومتر است. پلوتون فقط ۱/۱۶۰۰ مقدار گرما و نوری را می‌گیرد که زمین دریافت می‌کند. نور رنگ پریدهٔ خورشید دوردست، دشت‌های یخ زده این سیاره را ترسناک‌تر و غیر واقعی‌تر از آنچه باید، می‌نماید.

پلوتون، با قدر ظاهری ۱۴٫۸، حتی در تلسکوپ‌های بسیار قوی نیز چون نقطهٔ نورانی زردرنگی به نظر می‌رسد- جز در تلسکوپ ۵ متری کوه پالومار که قرص ظاهری پلوتون را آشکار می‌سازد.



شکل ۱۵-۴۰ مدارهای پلوتون و نپتون. نپتون و سیارات دیگر، به جز پلوتون، در مدارهایی حرکت می‌کنند که‌زوایای میلشان با دایرةالبروج بسیار کم است. زاویهٔ میل بزرگ مدار پلوتون در قیاس با مدار نپتون در اینجا نشان داده شده است.

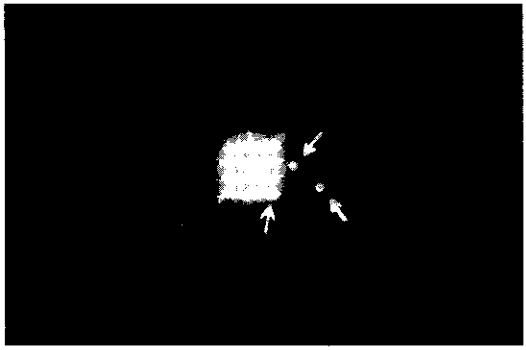
۱۵-۴۱ کشف پلوتون

شهرت پلوتون نیز، چون نپتون، به کشف آن مربوط است که در آن پرسیوال لاول[1] از فلگستاف آریزونا، و هـ. پیکرینگ[2] از هاروارد و کلاید تامباو[3]، که دانشجوی دستیار رصدخانهٔ فلگستاف بود، دست داشتند. جستجوی این سیاره بیش از بیست سال طول کشید. اعلام کشف آن در ۱۳ مارس ۱۹۳۰ همزمان بود با روز تولد پروفسور لاول و سالگرد کشف اورانوس توسط هرشل. نشانهٔ این سیاره (P و L) حروف اول پرسیوال لاول است.

این بار نیز انحرافی در حرکات محاسبه شدهٔ اورانوس و نپتون، انگیزهٔ جستجو برای پلوتون بود. اما اکنون معلوم شده است که پلوتون کوچک‌تر از آن است که عامل انحراف‌های پیش گفته باشد.

* منجمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی پیسه‌ای (speckle interferometry) توانسته‌اند مقدار نسبتاً قابل اعتمادی برای قطر

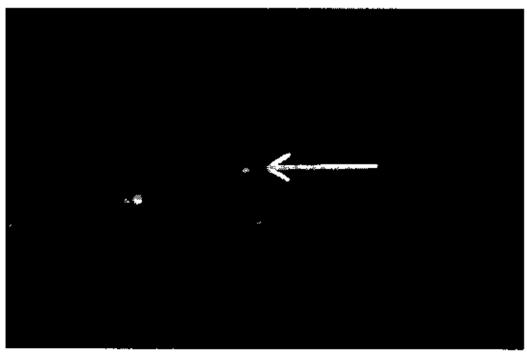
1- Percival Lowell
2- W. H. Pickering
3- Clyde Tombaugh

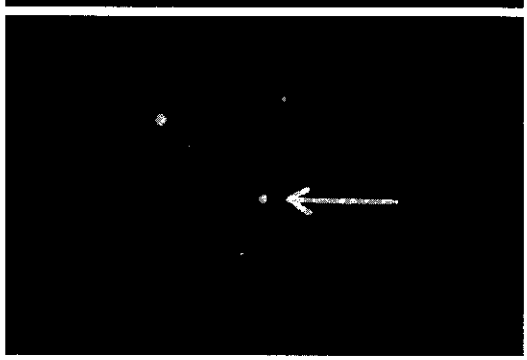


اورانوس و سه تا از قمرهایش (عکس از رصدخانهٔ لیک)



نپتون و یکی از اقمارش (عکس از رصدخانهٔ لیک)





پلوتون در زمینهٔ ستارگان به صورت شیء کوچکی دیده می‌شود که جایش را تغییر می‌دهد. (عکس از رصدخانه‌های هیل).

پلوتون به دست آورند.به‌علاوه در سال ۱۹۷۸ قمر کوچکی برای پلوتون کشف شد که شارن یا کارن (Charon) نامیده شد. از رصدهای بعدی قطری معادل ۱۱۸۰ کیلومتر برای این قمر به‌دست آمد که تقریباً نصف قطر پلوتون است. بررسی حرکت شارن، تعیین جرم سیاره(۲ ۰ر ۰ جرم زمین) را میسر ساخت. از این اندازه‌گیری‌ها معلوم شد که چگالی پلوتون در حدود یک دهم چگالی زمین است. فاصلهٔ شارن از سیارهٔ اصلی ۱۹،۰۰۰ کیلومتر و دورهٔ تناوب مداری آن ۴ر۶ روز است.*

۴۲-۱۵ مدار

پلوتون از چند جنبه شایان توجه است (به شکل ۴۰-۱۵ نگاه کنید).

آ. زاویهٔ میل مدار آن (°۱۷) از همهٔ سیارات دیگر بیشتر است.

ب. مدار آن بیشترین خروج از مرکز را در میان سیارات دارد.

پ. پلوتون در حضیض خورشیدی خود از نپتون به خورشید نزدیک‌تر است، به طوری که در آن هنگام نپتون بیرونی‌ترین سیاره می‌شود.

فاصلهٔ پلوتون از خورشید در حضیض خورشیدی برابر ۴،۴۲۵ میلیون کیلومتر است در حالی که فاصلهٔ نپتون ۴،۵۰۰ میلیون کیلومتر است. پلوتون در سال ۱۹۸۹ در حضیض خورشیدی خود بود. فاصلهٔ نپتون تا خورشید در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ میلادی بیشتر از فاصلهٔ پلوتون تا خورشید است.

دو سیاره هیچ احتمال برخوردی با یکدیگر ندارند، زیرا زاویهٔ میل مدار پلوتون بیش از °۱۷ است. به شکل ۴۰-۱۵ نگاه کنید. کم‌ترین فاصله‌ای که این دو سیاره از یکدیگر می‌توانند داشت، ۴۰۰ میلیون کیلومتر است.

این فاصله و داده‌های دیگری چون اندازهٔ (کوچک) پلوتون و دورهٔ تناوب حرکت وضعی آن (زیاد) اغلب اوقات به عنوان دلایلی اقامه می‌شود که پلوتون زمانی یکی از اقمار نپتون بوده است.

* جستجوی دقیقی که در سراسر آسمان از °۵۰ میل جنوبی تا °۳۵ شمال دایرةالبروج، انجام شده است هنوز به کشف سیاره‌ای فراتر از پلوتون نینجامیده است. اما این بررسی عظیم بیهوده نبوده است. گرچه هیچ سیارهٔ دیگری یافته نشده، ولی کشف یک مجموعهٔ کهکشانی مشتمل بر ۱۸۰۰ کهکشان، یک خوشهٔ کروی، چندین خوشهٔ کهکشانی و ۷۰۰ سیارک حاصل این بررسی بوده است. علاوه بر این منجمان تعداد زیادی جرم سیارک- مانند را در فراسوی مدار پلوتون کشف کرده‌اند که در ناحیه‌ای موسوم به کمربند کوئیپر[1]

1- Kuiper Belt

جای دارند. ناحیه کمربند کوئیپر به فاصلهٔ ۳۰ تا ۱۰۰ واحد نجومی از خورشید است و منشأ بسیاری از دنباله‌دارها از آنجا است. ❊

فصل ۱٦

ستاره‌های دنباله‌دار و شهابوارها

قسمت اول: ستاره‌های دنباله‌دار

۱-۱۶ ,مقدمه

واژهٔ انگلیسی Comets (ستاره‌های دنباله‌دار) از اصطلاح لاتینی Stellae Cometea به معنی «ستاره‌های گیسودراز» مشتق شده است. ستاره‌های دنباله‌دار یا دنباله‌دارها شاید از جالب‌توجه‌ترین اجرام منظومهٔ شمسی باشند؛ ظاهرشان با آن چه به‌راستی اند خیلی فرق دارد.

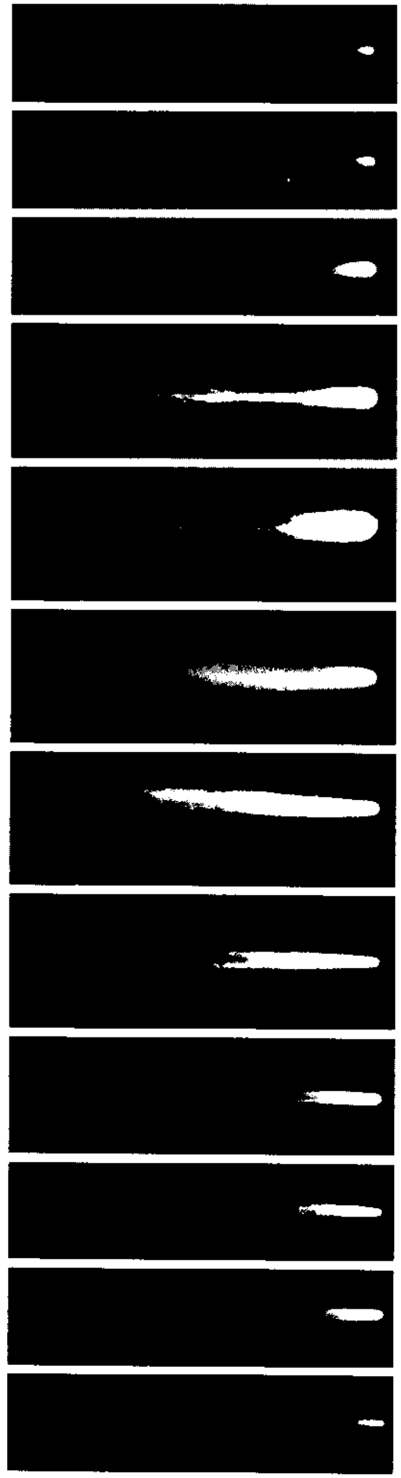
یک دنباله‌دار پرنور، در ظاهر قرص نورانی بزرگی است مانند ماه که بیشتر اوقات به هنگام روز هم دیده می‌شود؛ با دنباله‌ای به طول صدها میلیون کیلومتر، و مانند یک سیاره، بر بیضی کشیده‌ای بر گرد خورشید می‌گردد.

اما در واقع ستارهٔ دنباله‌دار اجتماعی کروی شکل از تعداد زیادی سنگ است که چون به خورشید نزدیک می‌شود گرم می‌شود و نور ساطع می‌کند و قسمتی از آن به غبار و گاز تبدیل می‌شود که دنباله‌دار را ترک می‌گوید و دنباله را پدید می‌آورد.

هربار که ستارهٔ دنباله‌داری از نزدیکی خورشید عبور کند، قسمتی از جرم آن به مصرف دنباله می‌رسد که مانند دود در فضا بر باد می‌رود. پس از چند ده یا یک صد بار گذشتن از حضیض، تمام مواد فرار و فروزندهٔ آن تمام می‌شود و ستارهٔ دنباله‌دار توده‌ای می‌شود از شهابواره‌ها که در فضا حرکت می‌کند و گه‌گاه بر زمین رگباری از شخانه می‌بارد.

دنباله‌دارها با اجرام دیگر منظومهٔ شمسی تفاوت بسیار دارند: آن‌ها از حیث اندازه، جرم، چگالی و رفتار منحصر به فرد اند.

طول یک دنباله‌دار نمونه تقریباً ۱۵۰ میلیون کیلومتر است و ممکن است به ۸۰۰ میلیون کیلومتر هم برسد. عرض و ضخامت یک ستارهٔ دنباله‌دار



ستارهٔ دنباله‌دار هالی

سابقهٔ رویت ستارهٔ دنباله‌دار هالی به ایام باستان می‌رسد، ادموند هالی منجم انگلیسی آن را در سال ۱۶۸۲ دید و سپس به محاسبهٔ مدار آن همت گماشت. او دریافت که مسیر آن همان مسیر ستاره‌های دنباله‌دار سال‌های ۱۵۳۱ و ۱۶۰۷ است و بازگشت آن را در سال ۱۷۵۸ پیش‌بینی کرد، ستارهٔ دنباله‌دار هالی در سال‌های ۱۸۳۵، ۱۹۱۰ و ۱۹۸۶ سر موقع پدیدار شد. عکس‌های مقابل رشد دنبالهٔ این ستارهٔ دنباله‌دار را با نزدیک شدن به خورشید در سال ۱۹۱۰ نشان می‌دهد. حضیض بعدی این ستارهٔ دنباله‌دار در سال ۲۰۶۲ واقع خواهد شد.

ارقامی بزرگ اند. ۰۰۰،۱۵۰ کیلومتر رقم عادی هریک از این ابعاد است. جرم آن که بی‌تناسب کوچک است، به‌قدری کم است که حتی اگر برخوردی نزدیک با کوچک‌ترین قمر پیدا کند، اختلالی در حرکت آن پدید نمی‌آورد: جرم یک ستارهٔ دنباله‌دار بزرگ در حدود یک میلیونم جرم زمین برآورد شده است.

حجم بزرگ و جرم کوچک به معنی چگالی متوسط بسیار کم، شاید در حدود یک میلیونم چگالی هوا در سطح دریا است. (ستاره‌های دنباله‌دار را چنین تعریف کرده‌اند: «نزدیک‌ترین وضعی که یک چیز می‌تواند به هیچ چیز داشته باشد و در عین حال چیزی به شمار آید.») این چگالی کم یکی از علل شفاف بودن دنباله‌دار است به طوری که ستاره‌ها را می‌توان از ورای آن دید.

یک ستارهٔ دنباله‌دار با وجود چگالی کم و جرم اندکش، اگر مرئی باشد جسمی باهیبت است. از حیث روشنی ممکن است شانه به شانهٔ زهره بساید؛ طول آن ممکن است نیمی از آسمان را، از سمت‌الرأس تا افق فرا گیرد.

بدون شک ابعاد وسیع برخی از ستاره‌های دنباله‌دار همراه با تلاءلؤ شایان توجه‌شان مایهٔ بسیاری از خرافاتی است که در تاریخ به ظهور آن‌ها نسبت داده شده است. تصور می‌شد که ظهور یک ستارهٔ دنباله‌دار پرنور علامت «نحس و خشم آسمان، و منادی جنگ و قحطی و نشانهٔ سقوط پادشاهان و ازهم‌پاشیدن امپراطوری‌ها است». بروز ناگهانی آنان نیز به این افسانه بیشتر پروبال داده است.

در واقع شمار ستاره‌های دنباله‌دار پرنوری که ثبت شده، بسیار معدود است. به طور متوسط یک یا دو ستارهٔ دنباله‌دار در هر عمر. آخرین ستارهٔ دنباله‌دار بزرگ که در ۱۸۸۲ پدیدار شد در حدود نه ماه قابل رصد بود و چندین هفته هم به وضوح تمام مرئی بود. در قرن بیستم، تا اواخر آن، هیچ ستارهٔ دنباله‌دار واقعاً برجسته‌ای ظاهر نشد. دو ستارهٔ دنباله‌داری که در ۱۹۱۰ ظاهر شد (یکی بازگشت ستارهٔ دنباله‌دار هالی[1] و دیگری ستارهٔ دنباله دار I ۱۹۱۰) و ستارهٔ دنباله‌دار خیلی جنوبی دسامبر ۱۹۴۷ فقط «نسبتاً» بزرگ بودند.

* دنباله‌دار وست را ناظران عرض‌های جغرافیایی میانهٔ نیمکرهٔ شمالی در سال ۱۹۷۶ به‌وضوح رؤیت کردند. ولی دنباله‌دار کهوتک[2] به رغم سر و صدای زیادی که در باره‌اش شد، از نظر روشنی و اندازه همه را ناامید کرد. بازگشت دنباله‌دار هالی در سال ۱۹۸۶ هم به هیچ وجه چشمگیر نبود. اما در ۱۹۹۵ اَلن هیل و تامس باپ، مستقل از هم دنباله‌داری را به کمک تلسکوپ کشف کردند که در آن موقع هنوز در فراسوی مدار مشتری بود.

1- Halley   2- Kohutek

هیل - باپ [1] دورترین دنباله‌داری بود که آماتورها کشف کرده بودند. این دنباله‌دار از پرنورترین دنباله‌دارهای مشاهده شده بود. به علاوه ۱۹ ماه به چشم برهنه دیده شد و بیش از هر دنباله‌دار دیگری از آن عکس گرفته شد.*

البته فراوانی ستارگان دنباله‌دار کم‌سو بسیار بیشتر از فراوانی ستاره‌های دنباله‌دار بزرگ و «نسبتاً» بزرگ است.

هر ساله بین پنج تا ده ستارهٔ دنباله‌دار جدید کشف می‌شود که بیشتر آنها به قدری کم فروغ اند که با چشم بی‌سلاح دیده نمی‌شوند. ستاره‌های دنباله‌دار نام خود را یا از کاشفان‌شان می‌گیرند (مثلاً ستارهٔ دنباله‌دار دوناتی [2]) و یا از منجمی که آن را به طور علمی مورد توجه قرار داد (مثلاً ستارهٔ دنباله‌دار هالی). اما رسماً به این نام، سال کشف و یک حرف لاتینی که شمارهٔ ترتیب در آن سال است، به طور موقت اضافه می‌شود. مثلاً ایکیا-سکی [3] n ۱۹٦۷ چهاردهمین ستارهٔ دنباله‌داری بود که درسال ۱۹٦۷ کشف شد. سرانجام پس از آن که مدار دنباله‌دار محاسبه شود شاخص آن، سال نخستین عبور نزدیک آن از برابر خورشید، همراه با عددی رومی که شمارهٔ ترتیب در آن سال است، خواهد بود. پس نام نهایی ایکیاسکی n ۱۹٦۷ عبارت بود از ایکیا- سکی I ۱۹٦۸، زیرا نخستین ستارهٔ دنباله‌داری بود که در ۱۹٦۸ از حضیض خورشیدی خود گذشت.

* منجمان آماتور در کشف دنباله‌دارهای جدید پیشتاز بوده‌اند و بیشتر دنباله‌دارهای جدید را، آماتورها کشف کرده‌اند. آماتورها فرصت آن را دارند که قسمت‌های وسیعی از آسمان را به دنبال ستاره‌های دنباله‌دار بگردند. اما حرفه‌ای‌ها پس از آن که دنباله‌دار کشف شد به بررسی دقیق و فنی آن می‌پردازند. وست، لوِی، ایکیا و سکی همگی آماتور بوده‌اند.*

۲-۱۶ ساختمان یک ستارهٔ دنباله‌دار

یک دنباله‌دار معمولاً تشکیل شده است از: (آ) یک هستهٔ کاملاً کوچک و پرنور، (ب) یک تودهٔ ابرمانند موسوم به گیسو که هسته را احاطه می‌کند و (پ) یک دنباله که گویی از گیسو جاری شده است. دنباله همیشه بسیار کم‌نورتر از رأس ستارهٔ دنباله‌دار است، هرچند که مرز کاملاً مشخصی آن‌ها را از هم جدا نمی‌کند. به شکل ۲-۱٦ نگاه کنید.

آ. هسته. هسته لکهٔ مرکزی پرنور و نسبتاً کوچک ستارهٔ دنباله‌دار است که

1- Hale-Bopp
2- Donati
3- Ikeya-Seki

قطر آن به‌ندرت از چند کیلومتر بیشتر می‌شود. تفاوت عمدهٔ آن با بقیهٔ ستارهٔ دنباله‌دار در چگالی است. هسته متراکم‌ترین بخش ستارهٔ دنباله‌دار است. مطالعات اخیر نشان داده است که هسته آمیزه‌ای است از ذرات منجمد متان (CH_4)، آمونیاک (NH_3)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، یخ (H_2O) همراه با مخلوطی از ذرات غبار و شهابوارها.

ب. گیسو. با نزدیک شدن هسته به خورشید، قسمتی از ذرات منجمد تبخیر و تبدیل به گاز می‌شود. این گازها گیسو را می‌سازند. بر اثر نور خورشید بعضی از مولکول‌های گاز به مواد شیمیایی دیگر نظیر کربن، سیانوژن، بنیان‌های آمونیاک و ئیدروکسیل (OH) تبدیل می‌شوند.

بیشتر ستاره‌های دنباله‌دار، رأس‌هایی کروی دارند که اندازهٔ‌شان بسیار متفاوت است. قطر رأس ممکن است از ۱۵٬۰۰۰ کیلومتر کمتر و یا از ۱٫۵ میلیون کیلومتر بیشتر باشد.

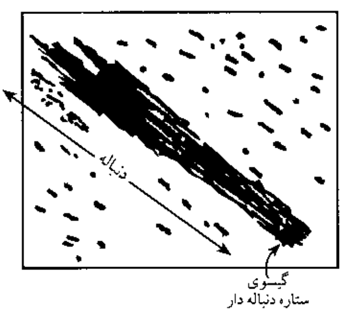
اندازهٔ رأس ثابت نمی‌ماند. ابعاد آن معمولاً درست بعد از حضیض خورشیدی به بزرگ‌ترین مقدار خود می‌رسد و ماکزیموم ثانوی آن درست پیش از رسیدن به نزدیک‌ترین نقطه به خورشید است. قطر رأس ستارهٔ دنباله‌دار هالی (در ۱۹۱۰) وقتی که در ۴۸۰ میلیون کیلومتری خورشید قرار داشت فقط ۲۲٬۰۰۰ کیلومتر بود. درست پیش از رسیدن به حضیض خورشیدی تا ۳۵۰٬۰۰۰ کیلومتر افزایش یافت، در حضیض خورشیدی به ۱۹۰٬۰۰۰ کیلومتر کاهش پیدا کرد. پس از گذشتن از حضیض به ۵۱۰٬۰۰۰ کیلومتر رسید و سرانجام با دور شدن از خورشید به مقدار ۴۸٬۰۰۰ کیلومتر تقلیل یافت.

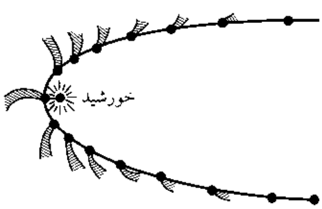
پ. دنباله. دنبالهٔ ستارهٔ دنباله‌دار ماهیتاً ناپایدار است و شباهت بسیار به دودی دارد که از دودکش خارج می‌شود. نخست با نزدیک شدن دنباله‌دار به حضیض خورشیدی پدیدار می‌شود و پس از آن که پیچ ۱۸۰ درجه‌ای را به دور خورشید پیمود و از آن دور شد، ناپدید می‌گردد. دنباله همیشه در خلاف سوی خورشید ممتد است. تابش خورشید گازهایی که دنباله را تشکیل می‌دهند از گیسو می‌راند. این تابش همچنین قسمتی از مولکول‌های اصلی را به مولکول‌های جدید چون مونوکسید کربن (CO) گاز گربینک (CO_2) و نیتروژن (N_2) تبدیل می‌کند.

اگرچه دنباله‌هایی به طول ۱۵۰ میلیون کیلومتر نسبتاً عادی است، دنبالهٔ ستارهٔ دنباله‌دار بزرگ I ۱۸۴۳ بیش از ۸۰۰ میلیون کیلومتر برآورد شد. این وسعت عظیم معلول آن است که فشار تابش نور خورشید به مراتب بیش از

شکل ۲-۱۶ ساختمان یک ستارهٔ دنباله‌دار. رأس یا گیسو بخش پیشین ستارهٔ دنباله‌دار را تشکیل می‌دهد. حجم اصلی ستارهٔ دنباله‌دار در دنبالهٔ آن است. این شکل در واقع «نگاتیو» منظره است و اجرام پرنور در آن سیاه نشان داده شده است.

دنباله نخستین بار هنگامی ظاهر می‌شود که ستارهٔ دنباله‌دار در فاصلهٔ چند واحد نجومی از خورشید باشد؛ در حضیض خورشیدی از هر وقت دیگر طویل‌تر است، هنگامی که ستارهٔ دنباله‌دار بار دیگر از خورشید خیلی دور شود ناپدید می‌شود. بر اثر فشار نور خورشید دنباله همیشه درست در جهت مخالف خورشید ممتد است.





کشش گرانشی گیسو بر این گاز ا ست.

فشار تابش، چنان که از نامش برمی آید، فشاری است که معلول تابش است. مقدار آن بر اجرام زمینی بسیار ناچیز است - فشار حاصل از تابش خورشید بر سطح ۲٫۵ کیلومترمربع کمتر از فشار ناشی از یک وزنهٔ یک کیلوگرمی است. اثر آن بر گازهای فرار گیسو و نیز بر ذره‌های بسیار کوچک غبار، بسیار زیاد است. فشار تشعشع به‌سهولت بر کشش گرانشی وارد بر این ذرات چیره می‌شود و از این رو می‌تواند آن‌ها را از گیسو به فواصل دور براند. نیروی رانشی که از این فشار حاصل می‌شود همچنان ذرات را در مسیرشان دنبال می‌کند. سرعت آن‌ها هنگامی که رأس را ترک می‌گویند کمتر از ۱ کیلومتر بر ثانیه است. در نقاط دورترِ دنباله، سرعت ۸۰ کیلومتر بر ثانیه سرعتی کاملاً معمولی است.

نتیجهٔ دیگری از فشار ناشی از تابش خورشید این است که دنباله همیشه در خلاف سوی خورشید ممتد است؛ وقتی که ستارهٔ دنباله‌دار به خورشید نزدیک می‌شود، از دنبال ستاره می‌آید و به هنگام دور شدن از خورشید پیشاپیش آن است. در بعضی ستاره‌های دنباله‌ار، وجود «ضد دنباله» کوتاهی، اسباب حیرت منجمان شده است. این با دنبالهٔ اصلی زاویه‌ای در حدود ۱۸۰° می‌سازد. منشاء این ضد دنباله‌ها هنوز چندان روشن نیست.

* دنباله‌دارها در عصر فضا. بررسی دنباله‌دارها به دو دلیل مورد توجه دانشمندان است، (۱) دنباله‌دارها از همان موادی ساخته شده‌اند که بدواً خورشید و بقیهٔ منظومه شمسی از آن به وجود آمدند. (۲) دنباله‌دارها ممکن است حاوی موادی باشند از محیط میان ستاره‌ای. این مواد، در زمانی که دنباله‌دار در ابرهای دوردست اورت بوده است بر سطح آن چسبیده‌اند. این قرائن ممکن است فرایندهای اولیهٔ پیدایش منظومه شمسی را بر ما آشکار سازد.

در دو دههٔ گذشته سفینه‌های متعددی برای مطالعهٔ دنباله‌دارها به فضا ارسال شده‌اند. آژانس فضایی اروپا کاوهٔ جوتّو[1] را در ۱۹۸۶ به قصد مطالعهٔ دنباله‌دار هالی ارسال کرد. جوتو از ۶۰۰ کیلومتری هالی گذر کرد و تصویرهای گویایی از وجود چند نوع غبار به زمین فرستاد. سفینهٔ دیپ اسپیس۱[2] در سپتامبر ۲۰۰۱ توسط ناسا از ۲۵۰۰ کیلومتری دنباله‌دار بورلی[3] عبور کرد و عکس‌هایی از هستهٔ ده کیلومتری دنباله‌دار گرفت. سفینه دیپ ایمپکت۲[4] به قصد برخورد با دنباله‌دار تمپل ۱ در سال ۲۰۰۵ پرتاب شد. در ژوئیه ۲۰۰۵، کاوهٔ برخورد از آن جدا شد و ۲۳ ساعت بعد به دنباله‌دار برخورد کرد. شعلهٔ

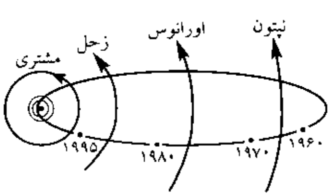
1- Giotto
2- Deep Space 1
3- Borrelly
4- Deep Impact 2

عظیم ناشی از برخورد را هم گردونهٔ کنارگذر سفینه و هم رصدخانه‌های زمینی مشاهده کردند. بنابر داده‌های ارسال شده سطح دنباله‌دار آن قدر که انتظار می‌رفت سخت نبود. *

۳-۱۶ مدار ستاره‌های دنباله‌دار

آ. مدارهای بیضوی. از ٦٢۵ ستارهٔ دنباله‌داری که در میانهٔ دههٔ ۱۹۷۰ شناخته شده بود، در حدود ۲۵۰ تا مدارهای بیضی شکل کشیده‌ای داشتند؛ معروف‌ترین این‌ها ستارهٔ دنباله‌دار هالی است. ادموند هالی (۱۷۴۲-۱٦٦۵) معاصر سر ایزک نیوتن، نخستین کسی بود که ستارهٔ دنباله‌دار ۱٦۸۲ را همان دنباله‌داری دانست که ۷٦ و ۱۵۱ سال قبل مشاهده شده بود و پیش‌بینی کرد که دیدار بعدی آن در اوایل سال ۱۷۵۹ خواهد بود. او زنده نماند تا تحقق پیش‌بینی‌هایش را ببیند. اما ستارهٔ دنباله‌دار در آوریل ۱۷۵۹ پدیدار شد و تاکنون سه دیدار بعدی را سر وقت انجام داده است. به شکل(آ) ۳-۱٦ نگاه کنید. این ستارهٔ دنباله‌دار بار دیگر در ۲۰٦۲ خواهد آمد.

ب. مدارهای دیگر. مدار سایر ستاره‌های دنباله‌دار دیگر به صورت قطعی معین نشده‌اند. ممکن است که این‌ها نیز در مدارهای بیضی شکل کشیده‌ای حرکت کنند؛ ولی محتمل‌تر آن است که منحنی مسیر آن‌ها سهمی یا هذلولی باشد.



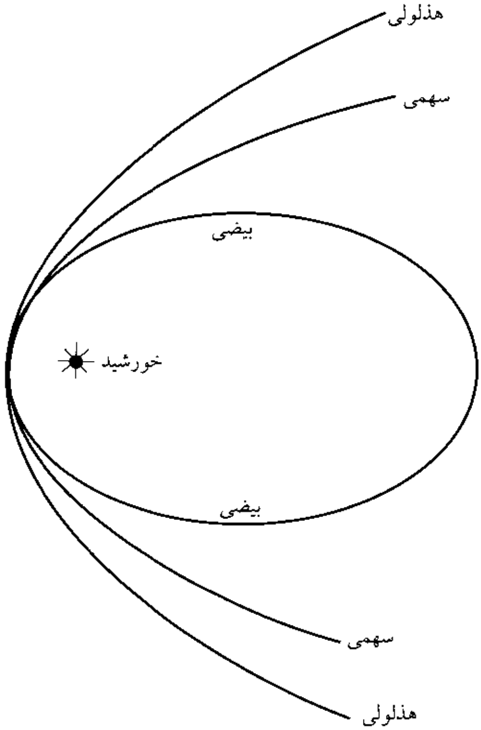
شکل (آ)۳-۱٦ مدار ستارهٔ دنباله‌دار هالی به صورتی که بر زمینهٔ مدارهای سیارات دیگر دیده می‌شود. این دنباله‌دار در ۱۹٦۰ از اوج خورشیدی خود گذشت و رهسپار خورشید شد. در ۱۹۷۰ یک سوم راه میان نپتون به اورانوس را پیموده بود. در سال ۱۹۸٦ بار دیگر بر روی زمین مرئی شد. مدار واقعی آن زاویه‌ای °۱۷ با صفحهٔ دایرةالبروج می‌سازد.

شکل(ب) ۳-۱٦ سه منحنی را نشان می‌دهد که مسیر یک ستارهٔ دنباله‌دار می‌تواند اختیار کند. حصول اطمینان از نوع مسیری که یک ستارهٔ دنباله‌دار می‌پیماید، بسیار مهم است. دنباله‌دارهایی که بر مدارهای بیضوی حرکت می‌کنند کراراً به حضیض خورشیدی خود بازمی‌گردند. دنباله‌دارهایی که بر یکی از دو مدار دیگر حرکت می‌کنند فقط یک بار به چشم ناظر زمینی پدیدار می‌شوند؛ پس از یک گردش °۱۸۰ به دور خورشید، منظومهٔ شمسی را برای همیشه ترک می‌کنند.

با کمال تأسف تعیین مدار بسیاری از ستاره‌های دنباله‌دار غیرممکن است.

وقتی که ستارهٔ دنباله‌دار به خورشید نزدیک است، انحنای سه مدار تقریباً یکی است (سه قوس در شکل (ب) ۳-۱٦) و تمیز میان آن‌ها تقریباً غیرممکن است. در فواصل زیاد از خورشید که مدارها از یکدیگر جدا می‌شوند، روشنی اندک مانع رصد کردن ستاره‌های دنباله‌دار می‌شود.

در بسیاری موارد مدار دنباله‌دارها به علت نزدیک شدن به یکی از سیارات بزرگ، تغییر می‌کند. در نتیجه دورهٔ تناوب بعضی کوتاه‌تر و از آنِ بعضی



شکل (ب)۳-۱٦ مدارهای ممکن یک ستارهٔ دنباله‌دار. بیضی مداری بسته است. ستاره‌های دنباله‌داری که بر آن حرکت کنند پی‌درپی به حضیض خورشیدی بازمی‌گردند و در نتیجه کراراً به وسیلهٔ ناظران زمینی دیده می‌شوند. سهمی و هذلولی هر دو مدارهای باز اند. دو انتهای هیچ کدام از آن‌ها، هرگز به یکدیگر نمی‌رسند. شیئی که بر چنین مداری حرکت کند از فضای لایتناهی می‌آید، در حضیض خورشیدی پدیدار می‌شود و سپس بار دیگر ناپدید می‌شود و دیگر دیده نمی‌شود.

دیگر درازتر می‌شود؛ مدار دنباله‌دارهای دیگری هم از بیضی به سهمی یا هذلولی تبدیل می‌شود. به این قرار بود که ستارهٔ دنباله دار بروکس[1] در سال ۱۸۸٦ از ۸۸،۰۰۰ کیلومتری مشتری گذشت و دورهٔ تناوبش از بیست و نه سال به اندکی بیش از هفت سال تغییر کرد.

مدار ۲۵۰ ستارهٔ دنباله‌دار را می‌دانیم که بیضوی است و کاملاً در داخل منظومهٔ شمسی قرار دارند- اوج خورشیدی (دورترین نقطه از خورشید) بیش از نیمی از آن‌ها نزدیک مدار مشتری است. این‌ها را «خانوادهٔ دنباله‌دارهای مشتری» می‌خوانند. دنباله‌دارهای دیگری که اوج‌های‌شان نزدیک زحل، اورانوس و نپتون است به «خانواده‌های» سیارات نظیر موسوم اند. در واقع اگر زاویه‌های میل مداری در نظر گرفته شود، این دنباله‌دارهای متعلق به زحل، اورانوس و نپتون، نزدیک‌تر به مشتری می‌گذرند تا به هریک از سه سیارهٔ دیگر.

1- Brooks

۴-۱۶ زندگی و مرگ یک ستارهٔ دنباله‌دار

مطالعهٔ ستاره‌های دنباله‌دار درازدوره حاکی از آن است که در فاصله‌ای میان ۵۰،۰۰۰ تا ۱۵۰،۰۰۰ واحد نجومی از خورشید ابری از ستاره‌های دنباله‌دار وجود دارد که حاوی صدها بیلیون ستارهٔ دنباله‌دار است (ابر اورت). برخی از این ستاره‌های دنباله‌دار گه‌گاه بر اثر پریشیدگی ستاره‌های نزدیک به درون منطقهٔ منظومهٔ شمسی پرتاب می‌شود و توقف خود در منظومهٔ شمسی را به عنوان دنباله‌دارهای درازدوره‌ای که مدارهای بیضی شکل کشیده‌ای را می‌پیمایند، آغاز می‌کنند. در طول مدت اقامت اینان در منظومهٔ شمسی، هم مدار و هم محتوای آن‌ها ممکن است به مقدار زیاد تغییر کند.

* یان اورت[1]، منجم هلندی- آمریکایی در سال ۱۹۵۰ میلادی وجود این ابر را بر اساس ملاحظات نظری حدس زد و هنوز هم وجود این لایه وسیع کروی به حوزهٔ فرضیه و حدس تعلق دارد و تکنولوژی ما تا به امروز نتوانسته است هیچ عضوی از ابر اورت را ردیابی کند. اما خیلی نزدیک‌تر از ابر اورت، کمربند کوئیپر[2] قرار دارد. این کمربند ناحیه‌ای چنبره‌ای شکل در فاصلهٔ ۳۰ تا ۱۰۰ واحد نجومی از خورشید است که منشأ دنباله‌دارهای کوتاه دوره شمرده می‌شود. در این کمربند بیش از ۸۰۰ جرم در سال‌های اخیر یافته شده است. این اجرام کمربند کوئیپر، KBO، گویند. برآورد می‌شود که بیش از ۷۰ هزار KBO در کمربند کوئیپر وجود داشته باشد. برخی از KBO ها قطرهایی بیش از ۱۵۰۰ کیلومتر دارند و از این رو با پلوتو قابل مقایسه اند. سدنا[3] که در ۲۰۰۳ کشف شد جرمی است به شعاع ۸۰۰ کیلومتر و دارای مداری با خروج از مرکز زیاد است که سدنا را فراتر از کمربند کوئیپر، تا ۸۸۰ واحد نجومی می‌برد. *

چنان که اشاره شد، مدار یک ستارهٔ دنباله‌دار، در برخورد نزدیک با سیارات بزرگ تغییر می‌کند. این برخوردها ممکن است اوج خورشیدی دنباله‌دار را از هزاران واحد نجومی به فاصله‌ای به کوچکی ده واحد نجومی از خورشید تغییر دهد و نیز دورهٔ تناوب آن از صدها سال به کسر کوچکی از این مدت کاهش یابد. (یک سیارهٔ بزرگ همچنین می‌تواند فاصلهٔ اوج خورشیدی را بیشتر کند و حتی ستارهٔ دنباله‌داری را از منظومهٔ شمسی به فضای میان ستاره‌ای اخراج کند). هر بار که دنباله‌داری از نزدیکی خورشید می‌گذرد محتوای آن تغییر می‌کند- بخشی از جرم آن که دنباله را تشکیل می‌دهد، در

1- Jan Oort
2- Kuiper
3- Sedna

فضا پخش می‌شود.

یک دنباله‌دار ممکن است در حین عبور از حضیض خورشیدی یا هنگامی که از نزدیکی سیارات بزرگ می‌گذرد به دو یا چند پاره شود. علت این چند پاره شدن، کشندهای شدیدی است که در این عبورهای نزدیک پدید می‌آید.

حد روش (به بخش ۲۷-۱۵ نگاه کنید) حاکی از آن است که اگر ستارهٔ دنباله‌داری از ۱۴۵ میلیون کیلومتر به خورشید یا ۱۴٫۵ میلیون کیلومتر به مشتری یا ۳٫۲ میلیون کیلومتر به زمین نزدیک‌تر شود، بر اثر جزر و مدهای ایجاد شده از هم خواهد گسست. رصد، این پیش‌بینی‌های نظری را ثابت کرده است. ستارهٔ دنباله‌دار XIV-۱۹۴۷ (چهاردهمین ستارهٔ دنباله‌دار در ۱۹۴۷) از ۱۶ میلیون کیلومتری خورشید گذشت و به دو پاره شد.

عمر یک ستارهٔ دنباله‌دار، حتی اگر چند پاره نشود، محدود به چند صد بار گذشتن از حضیض خورشیدی است. در اواخر عمر، دنباله‌دار همهٔ گازهای فرّار خود را از دست داده است. بقایای آن مدار عادی ستارهٔ دنباله‌دار را خواهد پیمود و گه‌گاه با جو زمین مواجه خواهد شد و رگبارهایی از شخانه را نثار زمین خواهد کرد.

اما ستاره‌های دنباله‌دار جدید، پیوسته از ابرهای اورت یا از کمربند کوئیپر به داخل منظومه شمسی پرتاب می‌شوند و عمری یک بار منظره‌ای درخشان و فراموش نشدنی را برای ما فراهم می‌سازند.

قسمت دوم: شهابوارها

۵-۱۶ مقدمه

شهابوارها اجرام کوچک جامدی (بیشتر به اندازهٔ دانهٔ شن) اند که فضا را درمی‌نوردند و اکثر آن‌ها در همان مدارهایی حرکت می‌کنند که در اشغال ستاره‌های دنباله‌دار است. مطالعهٔ مواضع و حرکت‌های آن‌ها حاکی از آن است که شهابوارها بقایای ستاره‌های دنباله‌داری اند که بخش بزرگی از جرم خود را ضمن عبورهای متوالی از نزدیکی خورشید از دست داده‌اند. اندک زمانی پس از مرگ دنباله‌دار، این ذرات که جاذبهٔ گرانشی‌شان توان آن را ندارد که انسجام و پیوستگی آن‌ها را به یکدیگر سبب شود، اجتماع به‌هم‌فشرده‌ای را به وجود می‌آورند که «کپهٔ سنگریزه‌های متحرک» توصیف خوبی از آن است. این اجتماع را کپه می‌نامیم. با گذشتِ زمان برخورد و پراکندگی زیادی در میان این

ذرات، هم در طول مدار بیضوی و هم در عرض آن، صورت می‌پذیرد. تودهٔ دراز شده و کشیده‌ای از این ذرات، که ممکن است در سرتاسر مدار گسترده باشد، به نهر موسوم است. کپه‌ها یا نهرهای متراکم، رگبارهای شخانه‌ای (تیرهای شهاب، به بخش ۶-۱۶ نگاه کنید) را پدید می‌آورند در شب‌های خاصی از سال می‌توان آن‌ها را دید. نهرهای پراکنده، مسئول شخانه‌های گاهگاهی اند که در هر شب تاریک و صاف دیده می‌شوند.

زمین در حین حرکت بر مدارش، پیوسته با بسیاری از این ذرات جامد پراکنده برخورد می‌کند که اکثریت عظیم آن‌ها از این برخورد جان سالم به در نمی‌برند. این شهابوارها که در هنگام ورود به جو زمین سرعت‌های نسبتاً زیادی (معمولاً ۳۰ کیلومتر در ثانیه) دارند، بر اثر گرمای حاصل از تراکم هوا در جلوی آن‌ها و اصطکاک میان هوا و سطح شان، می‌سوزند و خاکستر می‌شوند. شهابوارها نخست در ارتفاع‌های ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر مرئی می‌شوند. اکثر آن‌ها در ارتفاع‌های ۵۰ تا ۸۰ کیلومتر از بین می‌روند.

پدیدهٔ نوری‌ای که از ورود شهابوارها به جو زمین حاصل می‌شود شخانه یا تیر شهاب نام دارد: نوری که ناظر می‌بیند معلول برخورد اتم‌هایی که از شهابوارها واجهیده‌اند با اتم‌های هوای داغ است.

حجمی که این اتم‌های برخورد کننده اشغال می‌کنند لوله‌ای است که طول آن طول جرقه نور است و مقطع آن دایره‌ای است به قطر سه متر یا بیشتر.

تیرهای شهاب بسیار زیاد اند: در یک شب صاف در هر نقطه‌ای از زمین بیش از پنج شخانه را در هر ساعت می‌توان دید. عدهٔ کل آن‌ها در یک شب، در سراسر زمین، بالغ بر ۲۰ میلیون برآورد می‌شود. تعداد شخانه‌های کم‌نورتر که تنها به کمک تلکسوپ دیده می‌شوند بین ۵ تا ۱۰ هزار میلیون برآورد می‌شود.

غباری که از خاکستر شدن شخانه‌ها به جا می‌ماند به آرامی بر زمین می‌نشیند و روزانه صدها تن بر جرم سیارهٔ ما می‌افزاید.

گه‌گاه شهابوار بزرگی با جو زمین برخوردمی‌کند و از آن چیزی به جا می‌ماند و در مسیرش گرمایی عظیم ایجاد می‌شود. چنین باقی‌مانده‌ای شهاب‌سنگ نام دارد. شهاب‌سنگ‌ها را در موزه‌های مختلف می‌توان دید. اندازهٔ بعضی از آنها چند متر است. شهاب‌سنگ‌ها مدارهایی مستقیم با زاویهٔ میل کم را می‌پیمایند. این نکته و داده‌های دیگر دال بر آن است که شهاب‌سنگ‌ها زمانی از اعضای جمعیت سیارکی بوده‌اند نه از بقایای ستاره‌های دنباله‌دار (شهابوارهای دیگر که از برخورد با جو زمین جان سالم به در

نمی‌برند، از بقایای ستاره‌های دنباله‌دار اند).

تا آنجا که می‌دانیم زمین بارها با شهاب‌سنگ‌های به راستی غول‌آسا برخورد کرده است. شهاب‌سنگ ۳۰ ژوئن ۱۹۰۸ که در حدود ۴۰،۰۰۰ تن وزن داشت خوشبختانه در نقطه‌ای متروک در سیبریهٔ مرکزی سقوط کرد و موجب مرگی نشد، ولی صدمهٔ زیادی به اراضی جنگلی وارد آورد.

نشانه و اثر شهاب‌سنگ غول‌آسای دیگر در صحرای شمال شرقی آریزونا (آمریکا) در نزدیکی کانیون دیابلو به جا مانده است. قطر دهانه‌ای که از برخورد به جا مانده نزدیک به ۱۲۰۰ متر است و آن را کناره‌ای احاطه کرده که ۴۲ متر از سطح دشتِ سنگ آهکیِ مجاور بلندتر است. قعر دهانه، نزدیک ۱۸۰ متر از کناره پایین‌تر است. برآوردهای زمین‌شناختی بر اساس مطالعهٔ سنگ‌های داخل دهانه دال بر آن اند که برخورد شهاب‌سنگ با زمین در حدود ۳۰ یا ۴۰ هزار سال پیش روی داده است.

در سال‌های دهۀ ۱۹۷۰ سی دهانهٔ شهاب‌سنگی شناخته شد و تعداد زیادی تشکیلات زمین‌شناختی دیگر که از برخورد شهاب‌سنگ‌ها به وجود آمده بود تشخیص داده شد. این مجموعه شامل دهانهٔ ۵۶ کیلومتری مانیکواگان[1] در کبک[2] کانادا نیز می‌شود.

گوشزد: زمین به احتمال زیاد بسی بیش از ماه مورد اصابت قرار گرفته است. اما نیروهای فرسایشی سطح زمین اثر همهٔ دهانه‌ها را به‌جز معدودی که اخیراً پدید آمده‌اند، پاک کرده است.

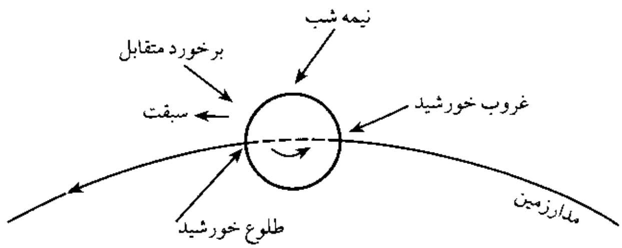
* اگر شهاب‌سنگ یا جرمی که از بیرون وارد جو زمین می‌شود خیلی بزرگ باشد، زمین ممکن است دچار فاجعه‌ای زیست‌محیطی شود. لوئیز و والتر آلوارز[3] نظریه‌ای ارائه کرده‌اند که بنا بر آن دنباله‌داری پرجرم یا شهاب‌سنگی غول‌آسا در ۶۵ میلیون سال پیش با زمین تصادم کرد. از این تصادم مقدار زیادی غبار و سنگ به هوا برخاست و عبور تابش خورشید را از جو زمین مانع شد. تغییرات اقلیمی حاصل، موجب انقراض بسیاری از گیاهان و جانوران از جمله داینوسورها شد. این نظریه مورد بحث و جدل است ولی قرائنی نیز دال بر وقوع این حوادث، وجود دارد. *

1- Manicouagan
2- Quebec
3- Luis & Walter Alvarez

۶-۱۶ فراوانی

فراوانی شخانه‌های قابل رؤیت با عوامل زیر تغییر می‌کند: (آ) موقع روز (ب) فصل سال و (پ) از همه مهم‌تر این که آیا زمین با شهابواری آواره برخورد می‌کند یا با نهر یا کپه‌ای از شهابوارها که در مدار بیضی شکل کشیده‌ای (که معمولاً از ستارهٔ دنباله‌دار منقرض شده‌ای به جا مانده) حرکت می‌کند.

آ. فراوانی شخانه‌ها در ساعات بعد از نیمه شب، از همه وقت بیشتر است. به طور متوسط عدهٔ شخانه‌هایی که در ساعات بین نیمه شب و طلوع خورشید می‌توان دید دو برابر تعداد آن‌ها در فاصلهٔ زمانی مشابه پیش از نیمه شب است؛ زیرا بعد از نیمه‌شب، ناظر بر سمت پیشین زمین در حرکت مداری، است و در نتیجه هم شخانه‌هایی را می‌بینید که زمین بر آن‌ها سبقت می‌گیرد و هم آن‌هایی را که از مقابل با زمین برخورد می‌کنند. به شکل (آ) ٦-١٦ نگاه کنید.



شکل (آ)٦-١٦ فراوانی شخانه‌ها بعد از نیمه شب. تعداد شخانه‌هایی که پس از نیمه شب در هر ناحیهٔ آسمان می‌توان دید تقریباً دو برابر تعداد شخانه‌های پیش از نیمه شب است. ناظر زمینی، بین نیمه شب و طلوع خورشید «سوار» بر قسمت پیشین زمین است و برخوردهای «رویارو» و «سبقت گرفته شده» هر دو را می‌تواند ببیند.

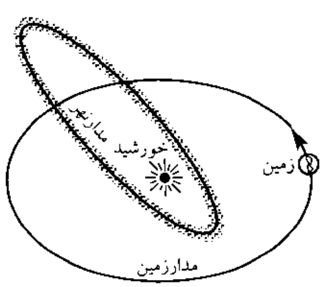
ب. تغییراتی نیز با فصول مشهود است. به علت زاویهٔ میل استوای زمین با مدارش فراوانی شخانه‌ها در فصل پاییز برای ناظران عرض‌های شمالی از هر وقت دیگر بیشتر است.

پ. افزایش شدید عدهٔ شخانه‌ها زمانی روی می‌دهد که زمین از میان کپه یا نهری بگذرد. در آن هنگام عدهٔ آن‌ها در هر ناحیهٔ کوچک، هزاران در ساعت است حال آن که در مواقع عادی چند شخانه در ساعت بیش نیست. تعداد زیادی شخانهٔ مرئی، یک رگبار شخانه ای نامیده می‌شود.

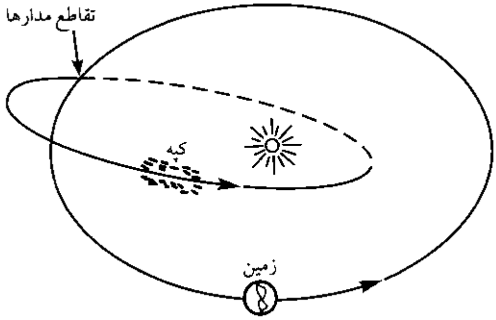
بدیهی است که رگبارهای شخانه‌ای وقتی زمین از میان یک کپه عبور می‌کند بسیار دیدنی‌تر اند تا موقعی که از میان یک نهر می‌گذرد که ذرات آن در سرتاسر یک مدار پراکنده است.

از سوی دیگر عبور زمین از میان نهرها بسیار فراوان‌تر است تا عبور آن از میان کپه‌ها. حالت نخست هر ساله، هنگامی که زمین ضمن حرکتش بر مدار خود مدار نهری را قطع می‌کند، روی می‌دهد. به شکل (ب) ٦-١٦ نگاه کنید.

شکل (ب)٦-١٦ رگبارهای شخانه‌ای مربوط به یک نهر. این رگبارها رویدادهای سالانه هستند. آنها را هر بار که زمین به نهر شهابوارها نزدیک می‌شود می‌توان دید.



برای آن که رگباری شخانه‌ای معلول کپه‌ای باشد، باید هم زمین و هم کپه در زمان واحد در محل تقاطع دو مدار باشند. به شکل (پ) ٦-١٦ نگاه کنید. این رویداد در مورد بعضی کپه‌ها به فاصله زمانی ۳۳ سال واقع می‌شود و برای کپه‌های دیگر به فواصل زمانی دیگر.



شکل (پ)٦-١٦ رگبارهای شخانه‌ای مربوط به یک کپه. این رگبارها بسیار دیدنی‌تر اند و هنگامی روی می‌دهند که زمین و کپه با هم در نقطهٔ تلاقی مدارهایشان باشند. برای برخی از کپه‌ها این واقعه هرچند صد سال یک بار روی می‌دهد.

شخانه‌های یک رگبار مسیرهای موازی هم دارند. این مسیرها از دید ناظر، در نتیجهٔ پرسپکتیو، چنین می‌نمایند که در نقطه‌ای بر کرهٔ آسمان هم‌گرا می‌شوند. این نقطه را نوربار ان نامند.

هر رگبار شخانه‌ای به نام صورت فلکی‌ای نامیده می‌شود، که نوربارانش در آن است. مثلاً شلیاقی‌ها، برساوشی‌ها و جز این‌ها.

چند رگبار شخانه‌ای عمده و ستاره‌های دنباله‌دار مربوط به آن‌ها در جدول ٦-١٦ آمده است.

جدول ٦-١٦

رگبارهای شخانه‌ای

نام	زمان	ستارهٔ دنباله‌دار	دورهٔ تناوب ستارهٔدنباله‌دار
شلیاقی‌ها	۳۰-۳۱ فروردین	1861 I	۴۱۵ سال
دلوی‌ها	۱۱-۱۵ اردیبهشت	هالی	٦ر۷٦ سال
برساوشی‌ها	۱۱-۳۱ مرداد	1862III	۱۲۰ سال
جباری‌ها	۲۳ مهر تا ۳ آبان	هالی	٦ر۷٦ سال
اسدی‌ها	۲۲-۲٦ آبان	تمپل	۳ر۳۳ سال
جوزایی‌ها	۱۸-۲۴ آذر	؟	؟

۱۶-۷ شهاب‌سنگ‌ها

شهاب‌سنگ‌های بازیافته را می‌توان بر حسب ترکیب‌شان به سه دستهٔ متمایز تقسیم کرد:

آ. سیدریت‌ها یا شهاب‌سنگ‌های آهنی. این شهاب‌سنگ‌ها از آهن و ۵ تا ۱۵ درصد نیکل تشکیل شده است. این دو فلز معمولاً آلیاژی را به‌وجود می‌آورند. در اغلب مواقع درصد کمی کبالت و مقدار بسیار کمی عناصر دیگر در سیدریت‌ها یافت می‌شود.

ب. آئرولیت‌ها یا شهاب‌سنگ‌های سنگی. که شباهت بسیار به سنگ‌های زمینی دارند، گرچه معمولاً چگال‌تر از نوع زمینی خود اند.

پ. سیدرولیت‌ها یا شهاب‌سنگ‌های آهنی- سنگی. این شهاب‌سنگ‌ها معمولاً دارای استخوان‌بندی آهن - نیکل اند، در خلل و فرج آن‌ها مواد سنگی وجود دارد. فلز و سنگ به نسبت برابر با هم مخلوط اند.

تجزیهٔ شیمیایی شهاب‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که تقریباً همهٔ عناصر در آن‌ها یافته می‌شود. ترتیب فراوانی عناصر چنین است: آهن، اکسیژن، سلیسیم. این مخلوط بسیار شبیه مخلوط پوستهٔ زمین است: اکسیژن، سلیسیم، آلومینیوم، آهن.

۱۶-۸ چگونگی تشخیص شهاب‌سنگ‌ها

آ. سیدریت‌ها. تشخیص شهاب‌سنگ‌های آهنی یا سیدریت‌ها از همه آسان‌تر است. سیدریت‌ها در هنگام کشف معمولاً ظاهر قهوه‌ای رنگ براقی دارند که هم معلول گداختن فلزات در هوا و هم در نتیجهٔ زنگ زدن معمولی است بر سطح زمین.

برای اثبات قطعی منشأ شهاب‌سنگی یک سیدریت، می‌توان روش زیر را به کار برد: (۱) قطعه‌ای از شهاب‌سنگ را ببرید؛ (۲) سطح بریده شده را صیقل بزنید؛ (۳) سطح صیقل خورده را با اسید نیتریک رقیق حک کنید.

بر اثر حک کردن، الگویی بلوری آشکار می‌شود که شاخص شهاب‌سنگ‌های آهنی است.

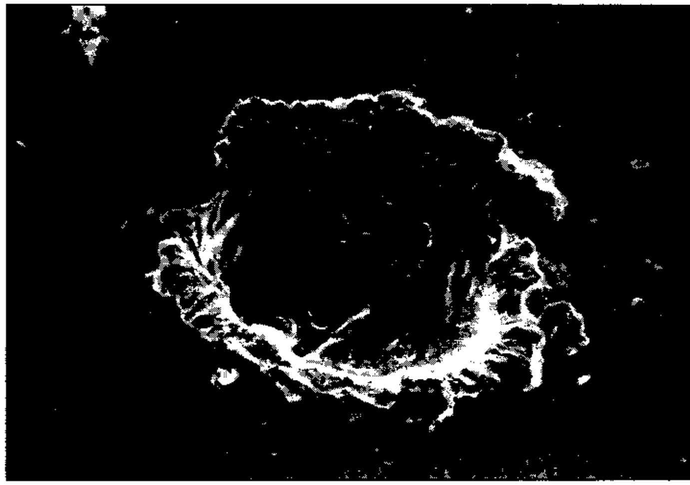
ب. آئرولیت‌ها. نوع سنگی شهاب‌سنگ‌ها بسیار شبیه سنگ‌های زمینی است در نتیجه تشخیص آن‌ها بسیار مشکل‌تر است. روشی که معمولاً برای تشخیص آئرولیت‌ها به کار می‌رود شامل کارهای زیر است:

(۱) قطعه کوچکی از سنگ مشکوک را پودر کنید. اگر این پودر دارای براده‌های براق مواد فلزی (خاصه نیکل) باشد، به احتمال زیاد می‌توان گفت که

سنگ از فضای خارج آمده است.

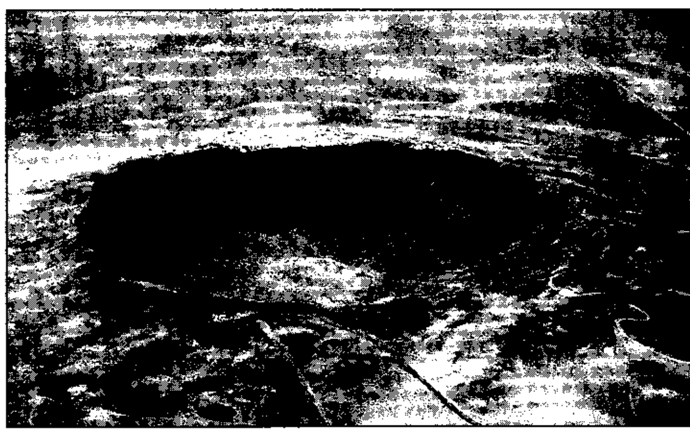
(۲) برش کوچکی از آن را زیر میکروسکوپ قرار دهید. اگر در نمونه ذرات گرد کوچکی (موسوم به کندری[1]) وجود داشته باشد می‌توانید کاملاً مطمئن باشید که نمونه منشأ فرا زمینی دارد.

1- Chondri



شهاب‌سنگ‌ها

دهانه‌ای که بر اثر برخورد یک خرده شهاب‌سنگ (میکرومتیوریت) با صفحه‌ای فولادی، در خارج جو زمین، به وجود آمده است. قطر دهانه کمتر از ۰٫۲ میلیمتر است. عکس با میکروسکوپ الکترونی گرفته شده است.

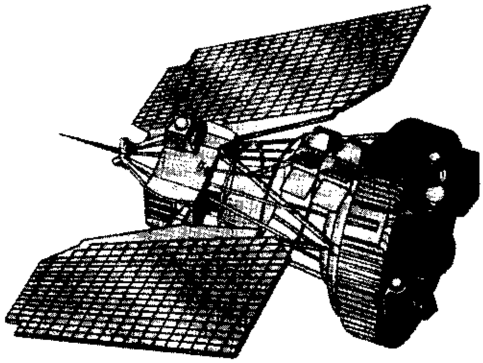


دهانهٔ شهاب‌سنگی بارینجر در آریزونای شمالی. قطر دهانه در حدود ۱۳۰۰ متر است.

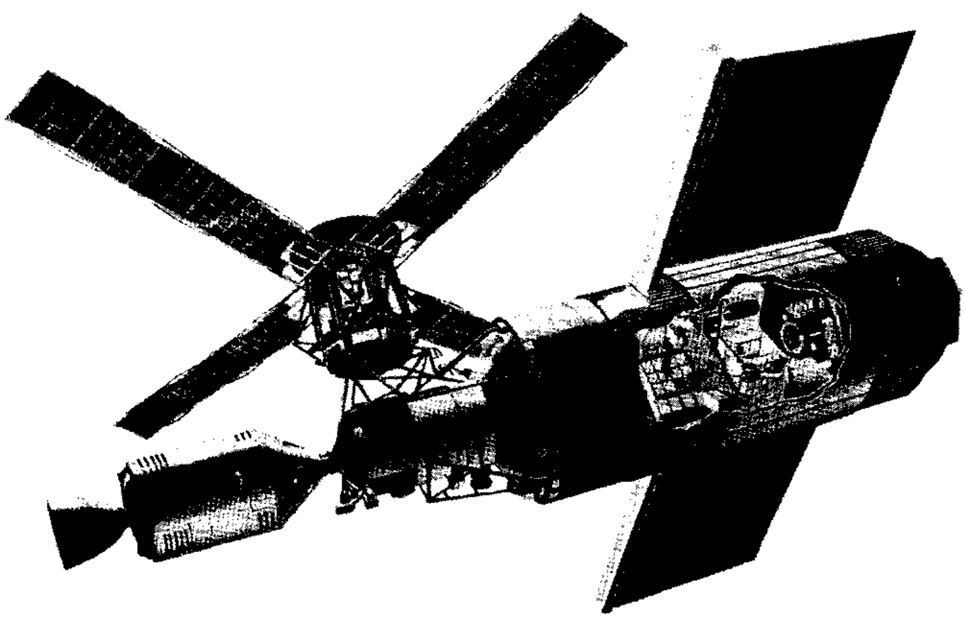


شهاب‌سنگ آنی‌گی‌تو که در موزهٔ آمریکن پلانتاریوم هایدن به نمایش گذاشته شده است.

ماهوارهٔ هواشناسی نوع نیمبوس، به منظور ثبت و ارسال جزئیات شرایط جوی طرح و ساخته شده است.



اسکای‌لب (آزمایشگاه فضایی) یکی از بلند پروازانه‌ترین برنامه‌های ماهواره‌ای هدایت شده به شمار می‌رود، که به‌منظور تحقیقات گوناگون در فضا تدارک شد (۱۹۷۳). هدایت این آزمایشگاه فضایی بر عهدهٔ سه تیم بود که یک در میان کار می‌کردند.



فصل ۱۷

ماهواره‌ها

یک ماهوارهٔ زمینی، شیئی است ساختهٔ دست آدمی که بر مداری تقریباً مستدیر (بیضوی) بر گرد زمین می‌گردد. نخستین ماهواره، موسوم به اسپوتنیک ۱ در ۱۴ اکتبر ۱۹۵۷ در اتحاد جماهیر شوروی سابق به فضا پرتاب شد. اسپوتنیک ۱ کره‌ای بود به وزن ۸۳٫۶ کیلوگرم و به قطر ۵۸ سانتیمتر. این ماهواره، زمین را بر مداری بیضوی با حضیض زمینی ۲۵۰ کیلومتر و اوج زمینی ۹۳۴ کیلومتر دور می‌زد و هر بار گردش آن به دور زمین ۹۶ دقیقه به طول می‌کشید. اسپوتنیک ۱ در طول عمر خود، از زمان پرتاب تا موقعی که در جو زمین متلاشی شد، راهی برابر با ۵۹۰ میلیون کیلومتر را پیمود.

برای پرتاب یک ماهواره، باید (۱) آن را به ارتفاع لازم از سطح دریا رساند؛ (۲) آن را در امتداد درست قرار داد. (۳) و تندی مناسب را به آن داد.

ماهواره را باید به ارتفاع چند صد کیلومتر برد تا اثر اصطکاک جوی بر حرکت مداریش حداقل شود. اگر مدار مستدیر در نظر باشد باید سرعتی عمود بر شعاع زمین به‌آن داده شود. اگر مدار بیضوی مورد نظر است، سرعتی که به‌آن می‌دهیم باید اندکی از عمود انحراف داشته باشد. ماهواره را بایددر زاویه‌ای مناسب با نصف‌النهار قرار داد. این زاویهٔ مناسب، مصالحه‌ای است بین حداکثر استفادهٔ ممکن از سرعت «موجود» که معلول دوران زمین بر گرد محورش است و بیشترین گسترهٔ ممکن عرض‌های جغرافیایی برای مشاهده و رصد ماهواره.

برای آن که از سرعتی که حرکت وضعی زمین به ماهواره می‌دهد بیشترین استفادهٔ ممکن به‌عمل آید باید ماهواره در استوا و به جانب مشرق پرتاب شود، زیرا در این صورت، سرعت «موجود» حداکثر و در حدود ۱۶۰۰ کیلومتر در

ساعت خواهد بود. هر شیئی که در استوا باشد، به اعتبار یک بار گردش به دور زمین در هر ۲۴ ساعت (پیرامون زمین ۴۰،۰۰۰ کیلومتر است) دارای چنین سرعتی نسبت به فضا است. چنین ماهواره‌ای را تنها ناظرانی می‌توانند ببینند که در استوا یا در نزدیکی آن اند؛ ماهواره فقط اطلاعاتی دربارهٔ عرض جغرافیایی °۰ به ما خواهد داد.

برای آن که ماهواره‌ای را همهٔ ناظران زمینی ببینند و علاوه بر این بیشترین اطلاعات فراهم آید، باید ماهواره در امتداد شمال‌جنوب حرکت کند، ولی این وضعیت امکان استفاده از سرعت «موجود» را نفی می‌کند.

سرعت افقی مناسب بین ۳۰،۰۰۰ و ۴۰،۰۰۰ کیلومتر در ساعت یا بین ۲ر۸ تا ۲ر۱۱ کیلومتر در ثانیه است. ۸ کیلومتر در ثانیه برای مدارهای کوچک و ۱۱ کیلومتر در ثانیه مناسب مدارهای بسیار بزرگ است. اگر سرعت افقی از ۸ کیلومتر در ثانیه کمتر باشد، سیاره در مدار قرار نخواهد گرفت و بر سطح زمین سقوط خواهد کرد. اگر این سرعت از ۲ر۱۱ کیلومتر در ثانیه بیشتر باشد باز هم در مدار گردش به دور زمین قرار نخواهد گرفت. ولی این بار از میدان گرانش زمین خواهد گریخت.

معمولاً سه کار را که برای پرتاب ماهواره باید انجام داد باهم ترکیب می‌کنند. ماهواره را معمولاً به کمک موشکی چند مرحله‌ای در مدار قرار می‌دهند. غرض اصلی از مرحلهٔ نخست این است که ماهواره از کوتاه‌ترین مسیر ممکن (یعنی به خط مستقیم) از بخش غلیظ جو خارج شود و به مناسب‌ترین (اپتیموم) سرعت (که اثر اصطکاک را حداقل می‌کند) دست یابد. مرحله‌های دیگر ماهواره را به حالت افقی درمی‌آورد و سرعت مورد نظر را به آن می‌دهد.

قبل از پرتاب، هر مرحلهٔ موشک با مقدار سوخت لازم پر می‌شود. هر مرحله پس از آن که وظیفه‌اش را انجام داد از بقیه موشک جدا می‌شود.

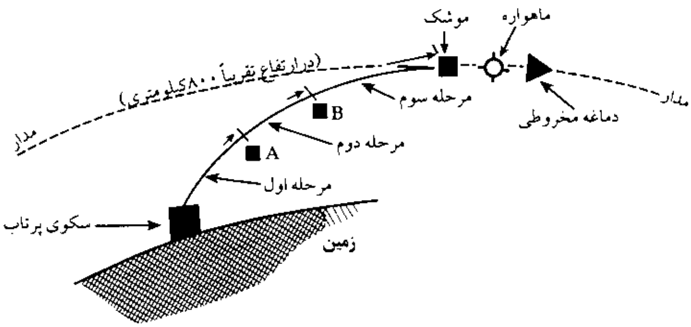
یک موشک نمونه برای پرتاب ماهواره، ممکن است شامل سه مرحله و یک دماغهٔ مخروطی باشد. به شکل (آ) ۱-۱۷ نگاه کنید. دماغهٔ مخروطی را روی ماهواره قرار می‌دهند تا هنگام حرکت با کمترین مقاومت روبرو شود. ماهواره وقتی بر مدار قرار گرفت، الی‌الابد در آن خواهد ماند، زیرا نیروهایی که بر ماهواره وارد می‌آیند، یکدیگر را خنثی می‌کنند و نیروی کل صفر می‌شود.

در ارتفاع‌های زیاد از سطح زمین، تنها دو نیرو بر ماهواره وارد می‌شود؛ این نیروها عبارت اند از:

آ. نیروی گرانش

$$F_{\text{گرانش}} = 6.7 \times 10^{-8} \frac{Mm}{r^2}$$

که در آن M جرم زمین، m جرم ماهواره و r فاصلهٔ میان مرکز زمین و مرکز ماهواره است. این نیرو ماهواره را به جانب زمین می‌کشد.



شکل (آ) ۱-۱۷

ب. نیروی گریز از مرکز

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

که در آن m جرم ماهواره، v سرعت در امتداد مسیر و r فاصلهٔ ماهواره از مرکز مدار است. این نیرو، نیرویی است دافعه که می‌کوشد بر فاصلهٔ میان ماهواره و زمین بیفزاید.

این دو نیرو، در یک سرعت معین، از نظر اندازه با یکدیگر برابر و از نظر جهت، مخالف یکدیگر اند. بنابراین یکدیگر را خنثی می‌کنند. از این رو ماهواره‌ای که سرعت مناسب را داشته باشد همچنان بر مدارش حرکت می‌کند، زیرا نیرویی وجود ندارد که آن را از مسیر مقرر منحرف سازد.

در داخل جو زمین، اصطکاک میان جو و ماهواره تعادل نیروی گرانشی و گریز از مرکز را برهم می‌زند. نیروی اصطکاک از سرعت ماهواره می‌کاهد و زنجیرهٔ رویدادهای زیر را موجب می‌شود.

آ. کاهش تندی، کاهش نیروی گریز از مرکز را سبب می‌گردد.

ب. نیروی گرانش، که بزرگ‌تر از نیروی گریز از مرکز شده است، موجب می‌شود که ماهواره در حالی که به سطح زمین نزدیک‌تر و نزدیک‌تر می‌شود مسیری مارپیچی را بپیماید.

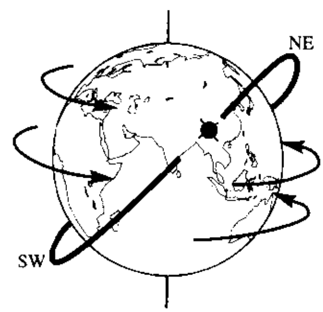
پ. نیروی اصطکاک ممکن است به اندازه‌ای حرارت ایجاد کند که ماهواره پیش از رسیدن به زمین بسوزد، یا آن که عملاً مانند شهاب‌سنگ‌های

بزرگ بر سطح زمین سقوط کند.

بهترین موقع برای مشاهدهٔ یک ماهواره با چشم، هنگام بامداد یا شامگاه است. در این مواقع خورشید زیر افق است، ناظر در ناحیهٔ تاریکی جای دارد ولی ماهواره که چند صد کیلومتر ارتفاع دارد نور خورشید را دریافت و منعکس می‌کند.

مداری که ماهواره می‌پیماید، سوای پریشیدگی‌های جزئی، مداری است ثابت در فضا، در حالی که زمین در داخل آن مدار هر ۲۴ ساعت یک بار بر گرد خود می‌گردد. به شکل (ب) ۱-۱۷ نگاه کنید.

شکل (ب) ۱-۱۷ حرکت ماهواره‌ها. خط ضخیم حلقه‌ای را نشان می‌دهد که ماهواره در طول آن حرکت می‌کند.



بنابراین ناظری که فرضاً در نیویورک است ماهواره را می‌بیند که از جنوب غربی به شمال شرقی می‌رود و ۱۲ ساعت بعد ممکن است همان ماهواره را در قسمت دیگری از مدارش ببیند که از شمال غربی به جنوب شرقی می‌رود.

به کمک ماهواره‌ها اطلاعات بسیار زیادی از فضای خارج به دست آمده است.

* ماهواره‌ها بسته به کارکردی که دارند، حامل انواع آشکارسازها، دوربین‌ها و وسایل اندازه‌گیری و ابزارهای دیگری هستند که وظیفهٔ پشتیبانی این وسایل را دارند. دستگاه‌های کنترل و جهت‌دهی، وسایل تأمین انرژی، آنتن‌های مخابراتی و غیره از این زمره‌اند. *

برخی از ماهواره‌ها که در مدار قرار گرفته‌اند برای مقاصد خاص طرح و ساخته شده‌اند. این‌ها عبارت اند از:

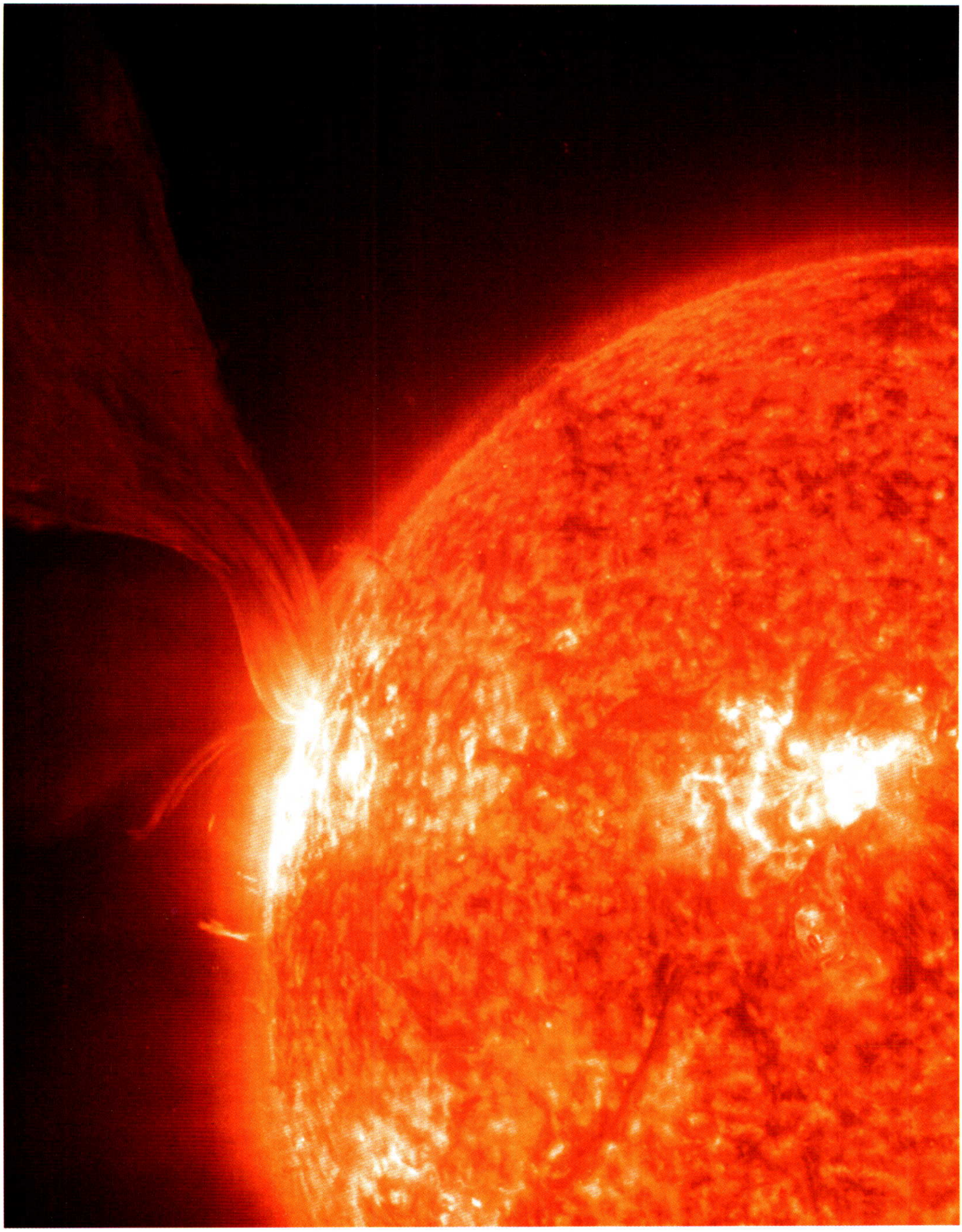
آ. ماهواره‌های مخابراتی. برخی از این ماهواره‌ها حامل وسایل الکترونیک دریافت، تقویت و بازگسیل پیام‌های علامتی اند.

ب. ماهواره‌های هواشناسی. این ماهواره‌ها پوشش ابری زمین، اطلاعات مربوط به توفان‌ها و مسیر جریان‌های اقیانوسی را گزارش می‌کنند.

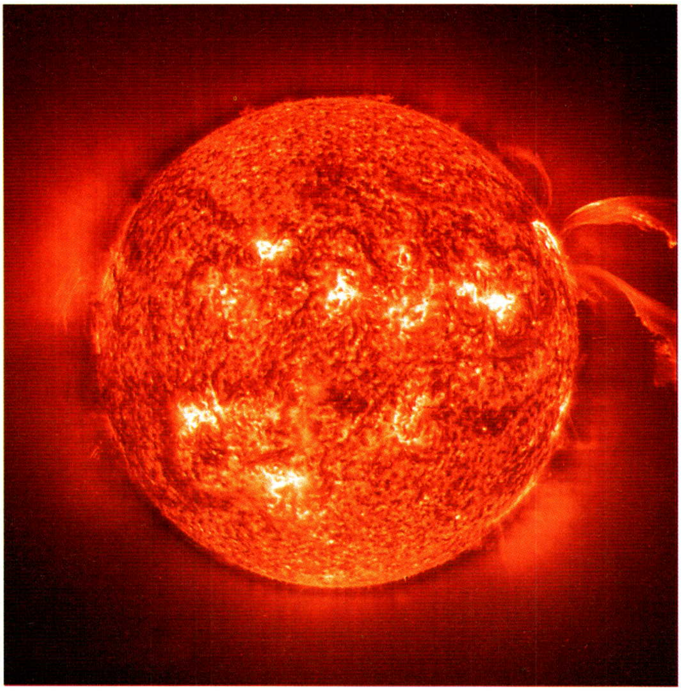
پ. ماهواره‌های فن‌شناسی منابع زمین. از این ماهواره‌ها برای افزایش دانش ما نسبت به منابع زمین استفاده می‌شود.

ت. ماهواره‌های نظامی.

* ث. ماهواره‌های نجومی. برخی از این ماهواره‌ها برای مطالعهٔ تابش‌هایی به کار می‌روند که جوّ زمین مانع ورود آنها است. نجوم تابش X، تابش گاما، و تابش‌های فرابنفش و فروسرخ دستاورد این قبیل ماهواره‌ها است. *

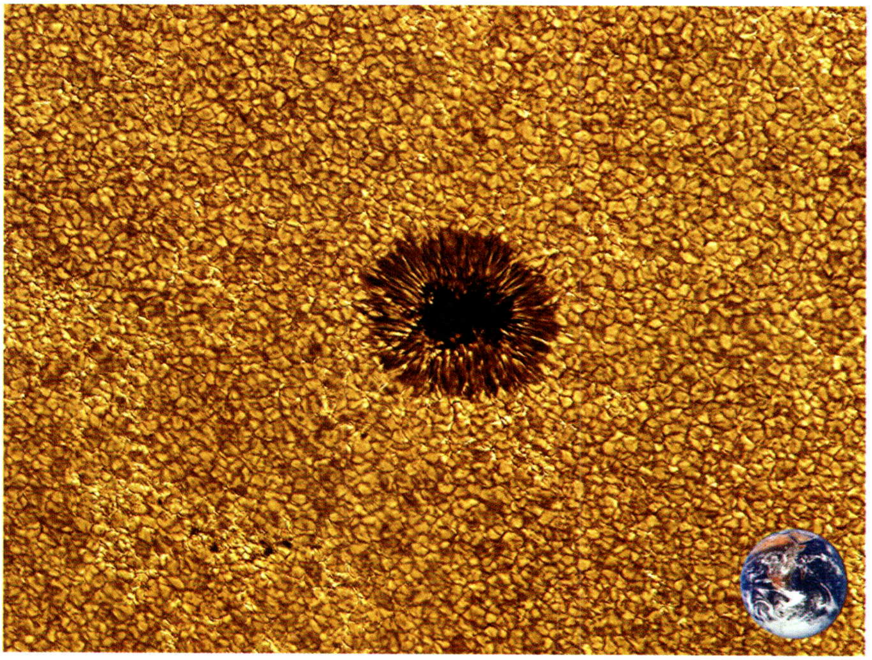


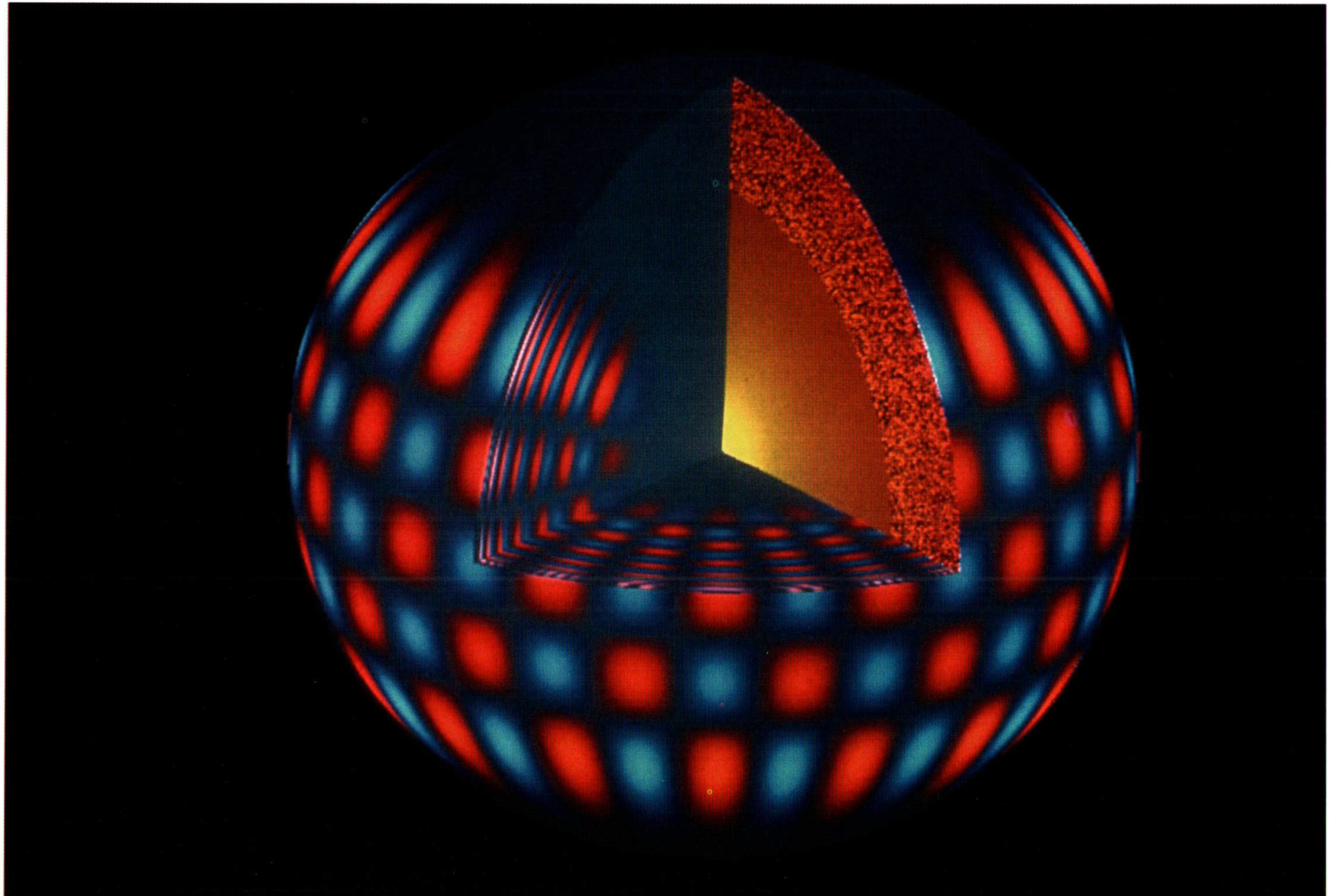
تصویر فوران یک زبانهٔ گسترده از سطح خورشید که در ۱۵ مه سال ۲۰۰۱ گرفته شده است.



تصویر یک جفت زبانهٔ خمیده در طول موج ۳۰۴ آنگستروم در ۲۸ ژوئن ۲۰۰۰ میلادی. زبانه ها ابرهای عظیم نسبتاً سردی از پلاسمای چگال اند که در تاج رقیق و داغ خورشید معلق اند. گهگاه شدت فوران آنها به حدی است که جو خورشید را ترک می کنند. گسیل در طول موج بالا حاکی از آن است که دمای فام سپهر فوقانی خورشید در حدود ۶۰ هزار درجه است . در این تصویر داغ ترین نقاط تقریباً سفید اند و قسمتهای سرخ دمای کمتری دارند.

کلف ها، آهنربا هایی هم اندازهٔ زمین، بر سطح خورشید اند. این تصویر که یک کلف را از بالا نشان می دهد، در واقع ترکیب سه عکس در سه رنگ متفاوت است. دانه ها در سطح نور سپهر خورشید، دیده می شوند. کلف تیرهٔ بزرگ با نیمسایهٔ روشن تری احاطه شده است. (تلسکوپ موسسه نجوم اوترخت).





امواج لرزهٔ درون خورشید که توسط گروه شبکهٔ نوسانات سراسری رصد خانه های درون خورشیدی (GONG) تهیه شده‌است. (رنگها کاذب اند و هارمونیک‌های کروی نوسان‌های خورشیدی را مشخص می کنند).



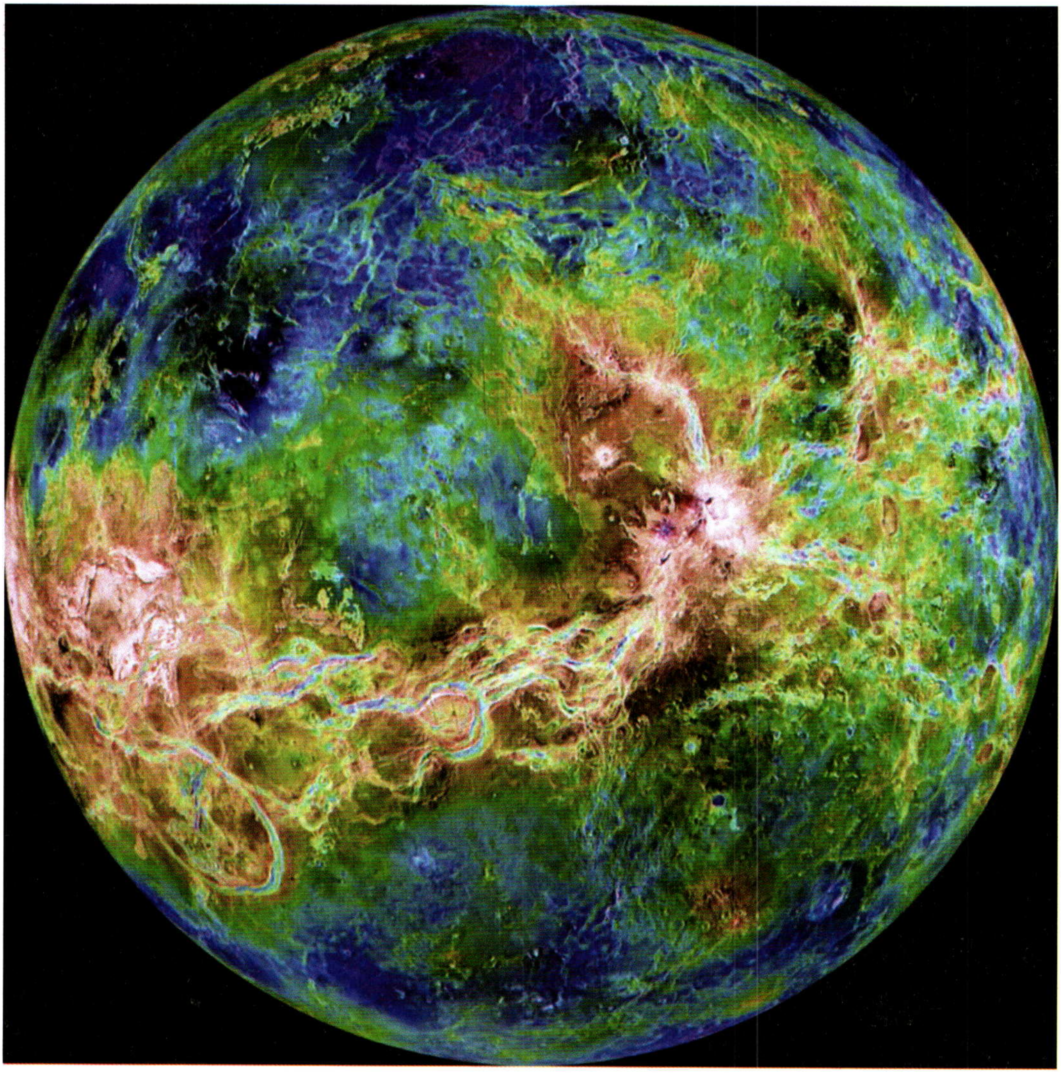
منظرهٔ زمین از دیدگاه سفینهٔ آپولو ۱۷ به هنگام سفر به ماه. از دریای مدیترانه و خلیج فارس در بالا تا کلاهک یخی قطب جنوب در پائین در این عکس دیده می‌شود. تقریباً تمام قارهٔ افریقا مشهود است.



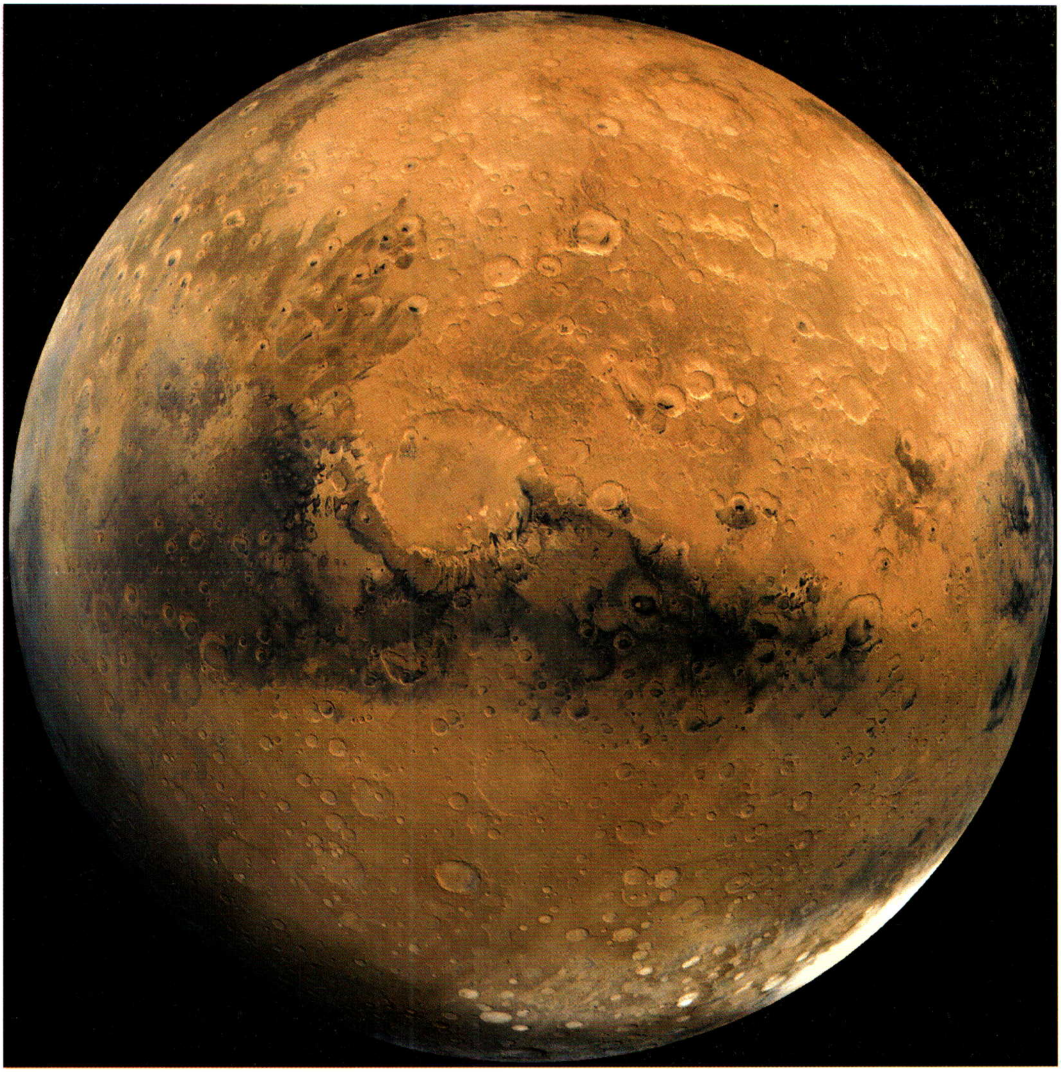
تصویر قمر زمین در حالت کوژماه. این تصویر موزاییکی است از ۱۵ عکس که با رایانه به هم «دوخته» شده‌اند.



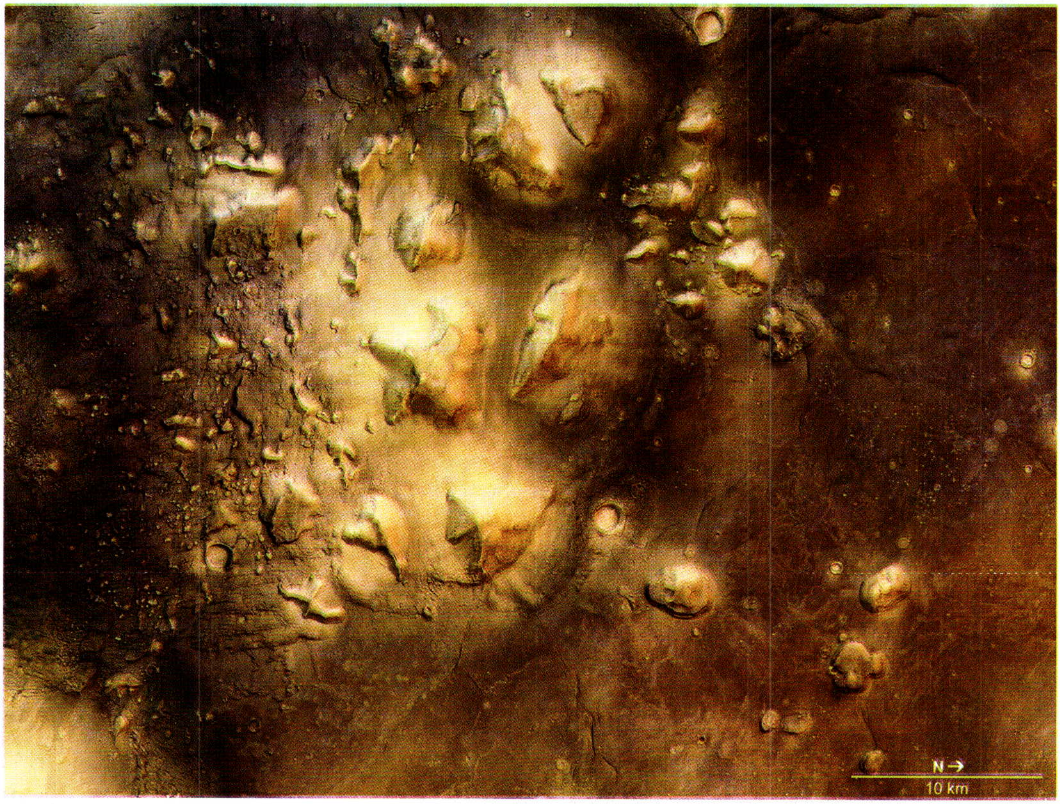
خسوف کلی. سرخی ماه گرفته، به سبب شکست نور خورشید از جوّ زمین به داخل سایه است.



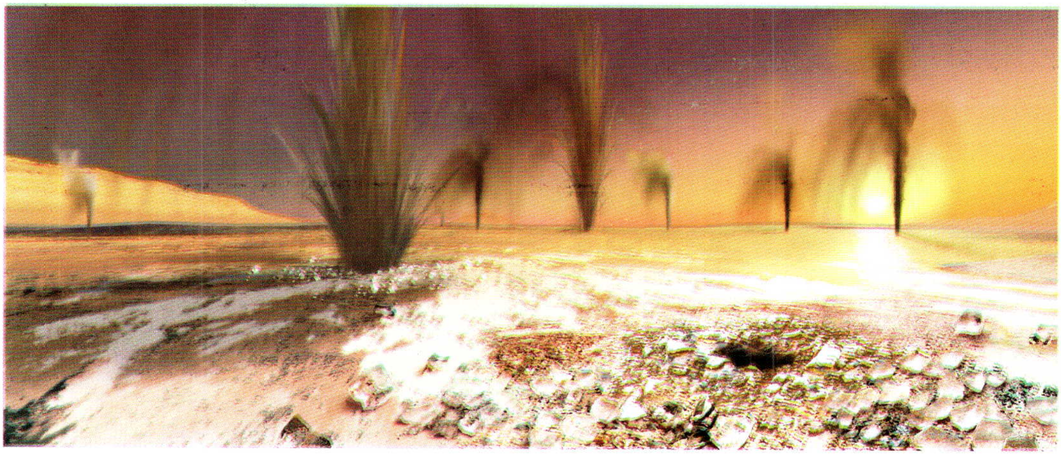
این تصویر (با رنگ کاذب) حاصل یک دهه تحقیقات راداری سطح زهره است که سرانجام با مأموریت ماژلان در سال‌های ۹۴-۱۹۹۰ کامل شد. رنگها، ارتفاعهای مختلف را مشخص میکند. ناحیهٔ صورتی روشن در میانهٔ تصویر، بلندی‌های وسیع موسوم به «آفرودیته ترا» بر سطح زهره است.



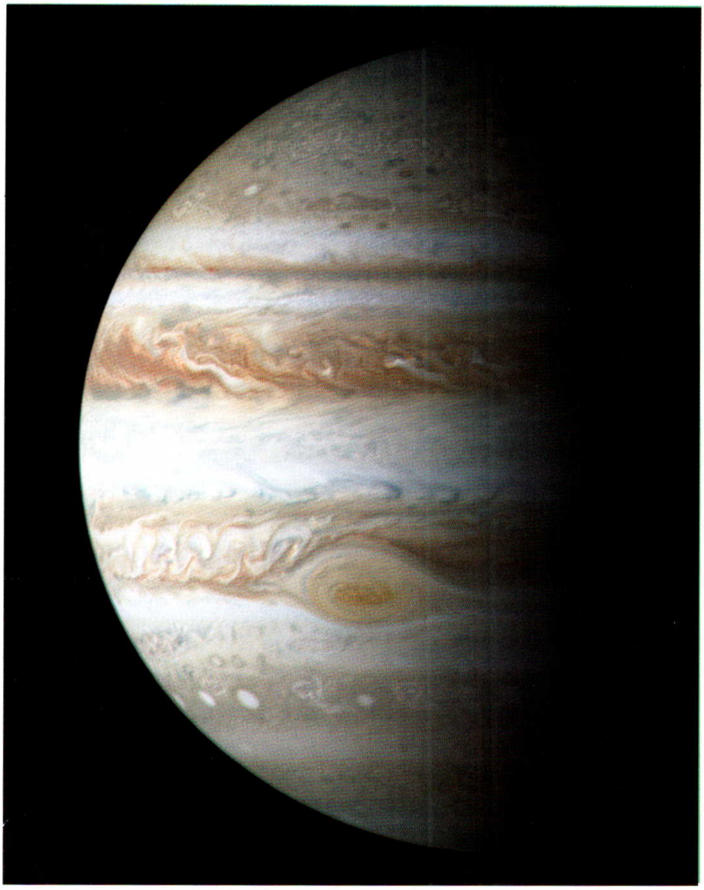
موزاییکی از یکصد عکس از سطح مریخ که به وسیلهٔ مدارگرد وایکینگ در ۱۹۸۰ گرفته شده است. دهانهٔ اسکیاپارلی در وسط عکس به وضوح دیده می شود. قطر این دهانه ۴۶۱ کیلومتر است. ناحیه های روشن و سفید در پائین و سمت راست عکس، پوشیده از یخ دی اکسید کربن است.



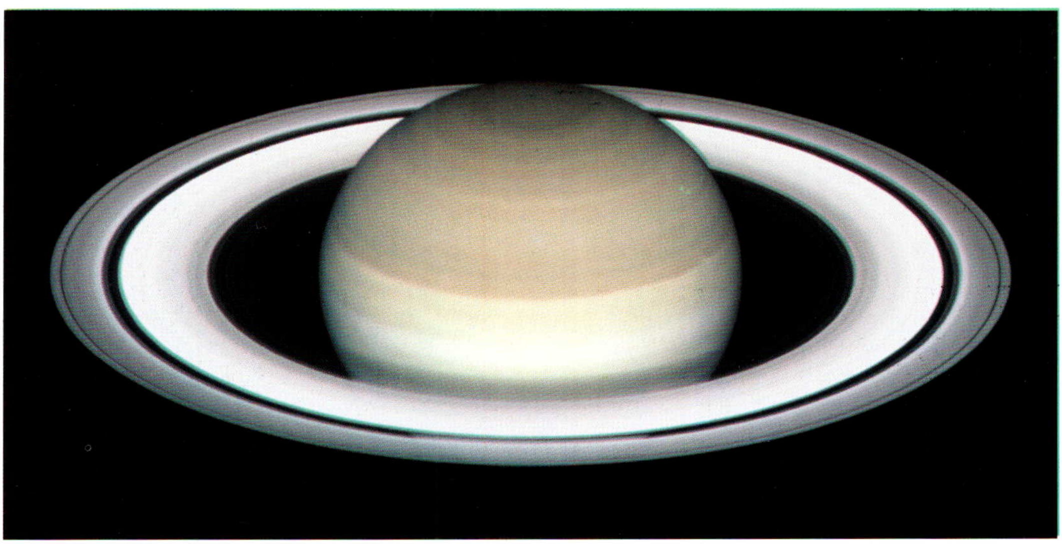
کوههای سنگی ناحیهٔ سیدونیا در مریخ ظاهر حیرت آوری دارند. این تصویر منطقه‌ای به عرض ۹۰ کیلومتر را نشان می دهد، که با نور تقریباً عمود خورشید روشن شده است. گمان می‌رود که ناحیه سیدونیا محصول لغزش های گسترده و فرسایش پوستهٔ قدیمی مریخ باشد.



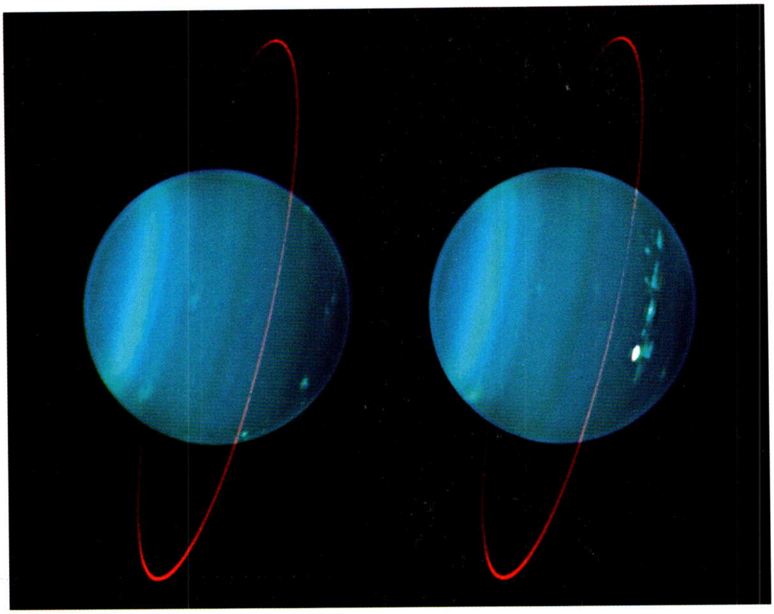
تصویر خیالی سطح مریخ در کلاهک قطبی آن که لایهٔ نازکی از یخ CO_2 آن را پوشیده است. تصعید یخ در لایه‌های زیرین، لایه‌های سطحی را می شکند و جت‌های فورانی به‌وجود می آورد (نقاشی از ران میلر، دانشگاه ایالتی آریزونا).



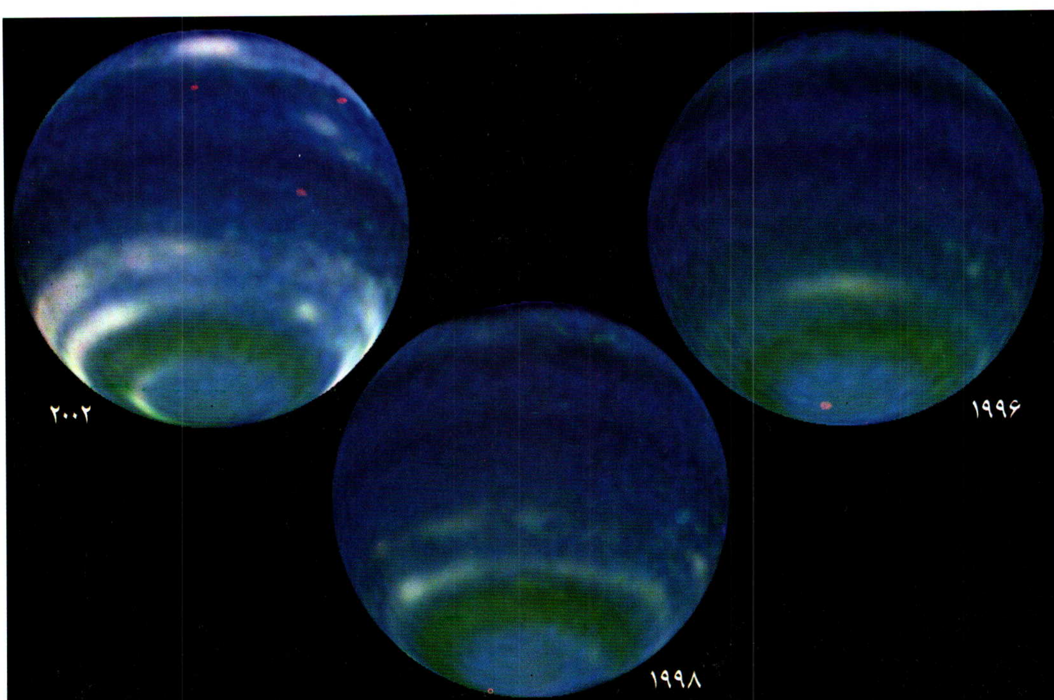
تصویر مشتری که در سال ۲۰۰۰ با دوربین سفینهٔ فضایی کاسینی از فاصله ده میلیون کیلومتری گرفته شده است. آنچه از سیاره به چشم می آید ابر و حرکات جوی است. برجسته ترین مشخصه های جوّ سیاره، ابرهای متلاطم و لکه بزرگ سرخ است که در این تصویر به وضوح دیده می شود. ابرهای مشتری، متشکل از آمونیاک، ئیدروژن سولفید و آب اند.



زحل و حلقه های آن از دید تلسکوپ فضایی هابل. دستگاه حلقه ها وسعتی بالغ بر ۲۵۰ هزار کیلومتر دارد. اما ضخامت آن در بعضی نقاط فقط چند ده متر است.



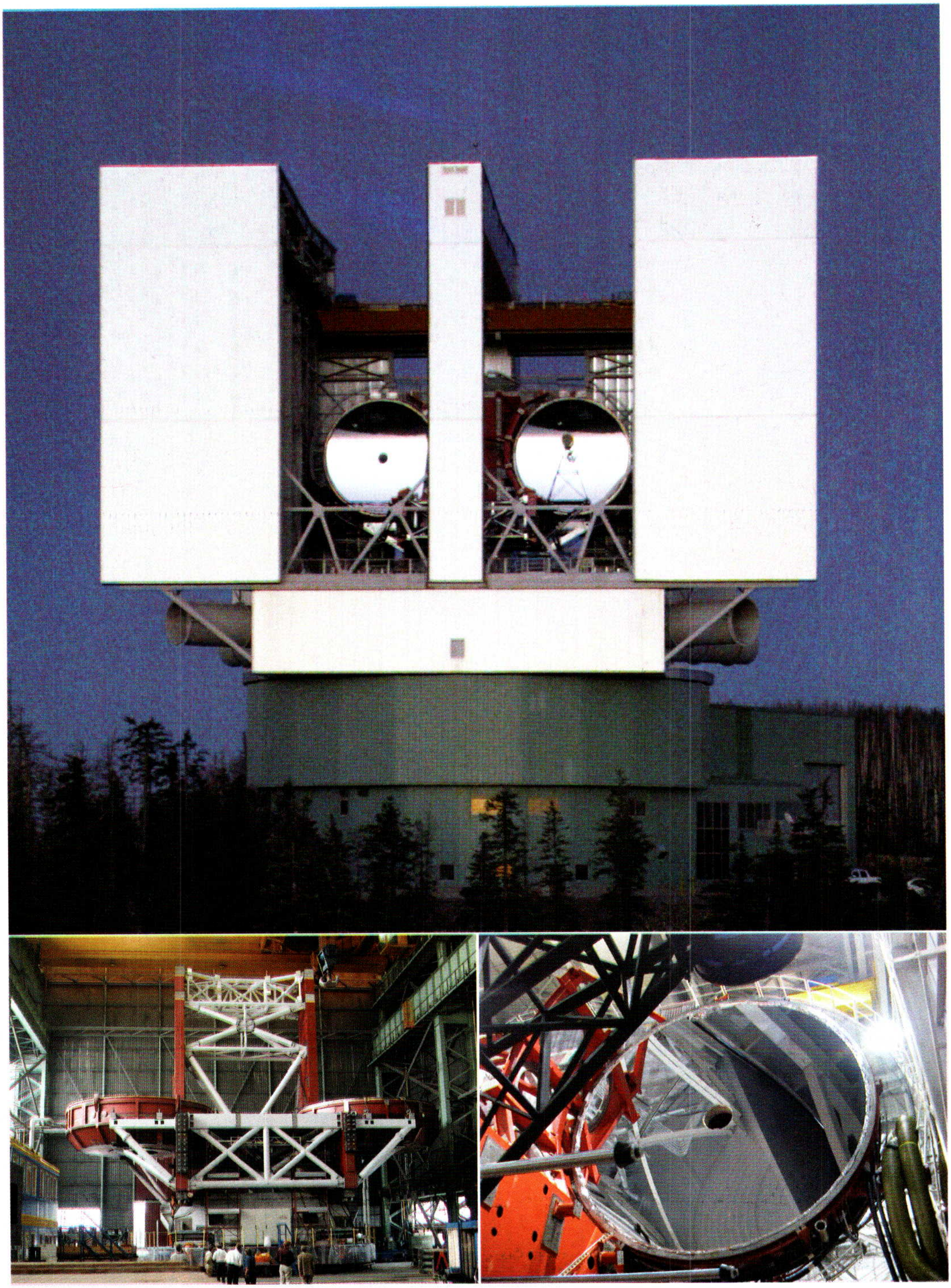
اورانوس و حلقهٔ نازک آن. این دو تصویر، دوطرف این سیارهٔ «خوابیده» را نشان می‌دهد. محور دوران سیاره تقریباً بر صفحه مدارش به دور خورشید قرار دارد. حلقهٔ اورانوس بسیار بی‌فروغ است و از این رو به رنگ کاذب قرمز نشان داده شده است(رصد-خانهٔ کِک).



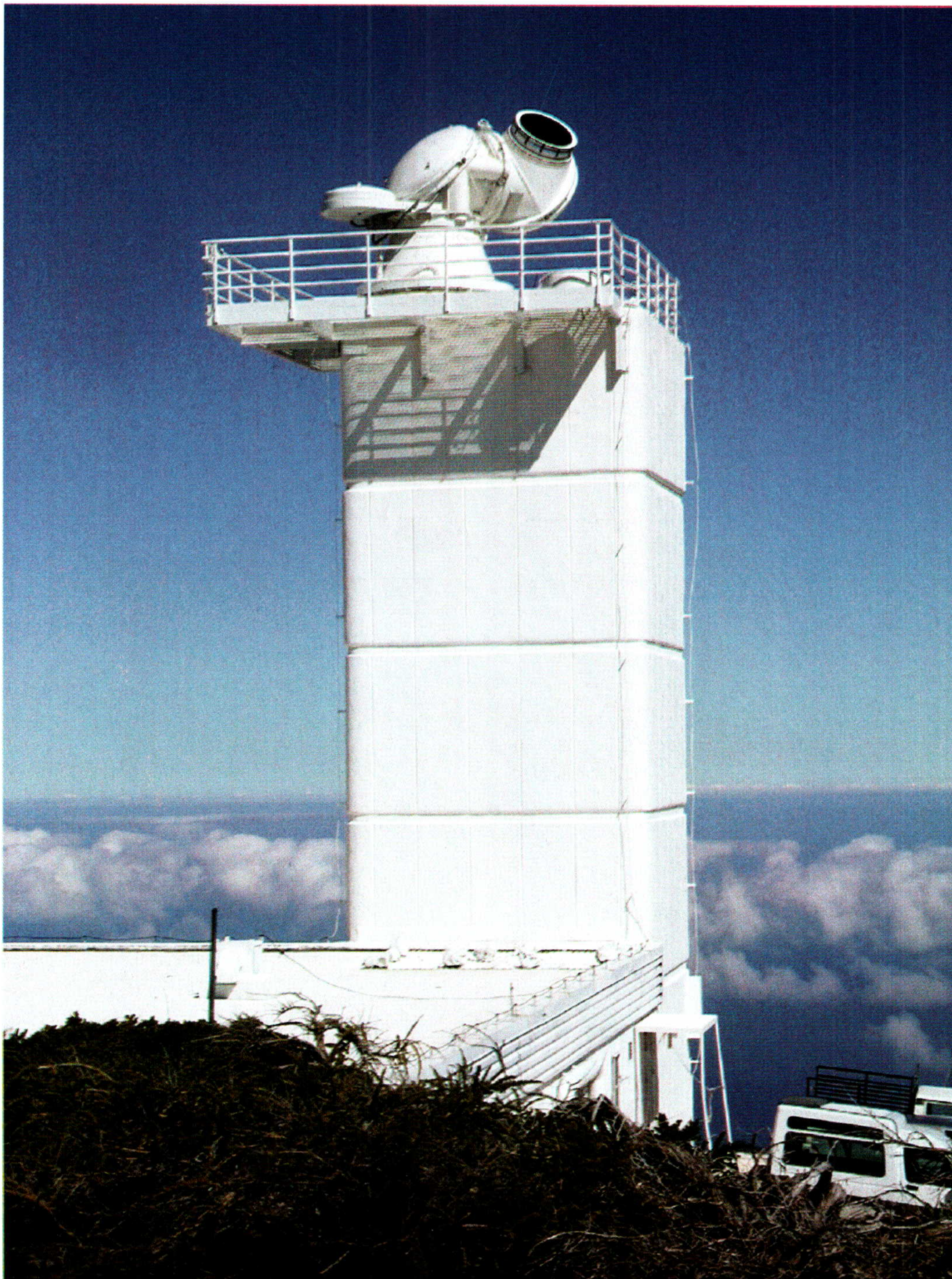
سه تصویر از نپتون در سالهای ۱۹۹۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ که با تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است. این رصدها نشان داد که روشنی نپتون در سال ۲۰۰۲ به طور محسوسی افزایش یافته بود. این افزایش به دلیل فزونی ابرها در نیمکرهٔ جنوبی سیاره بود.



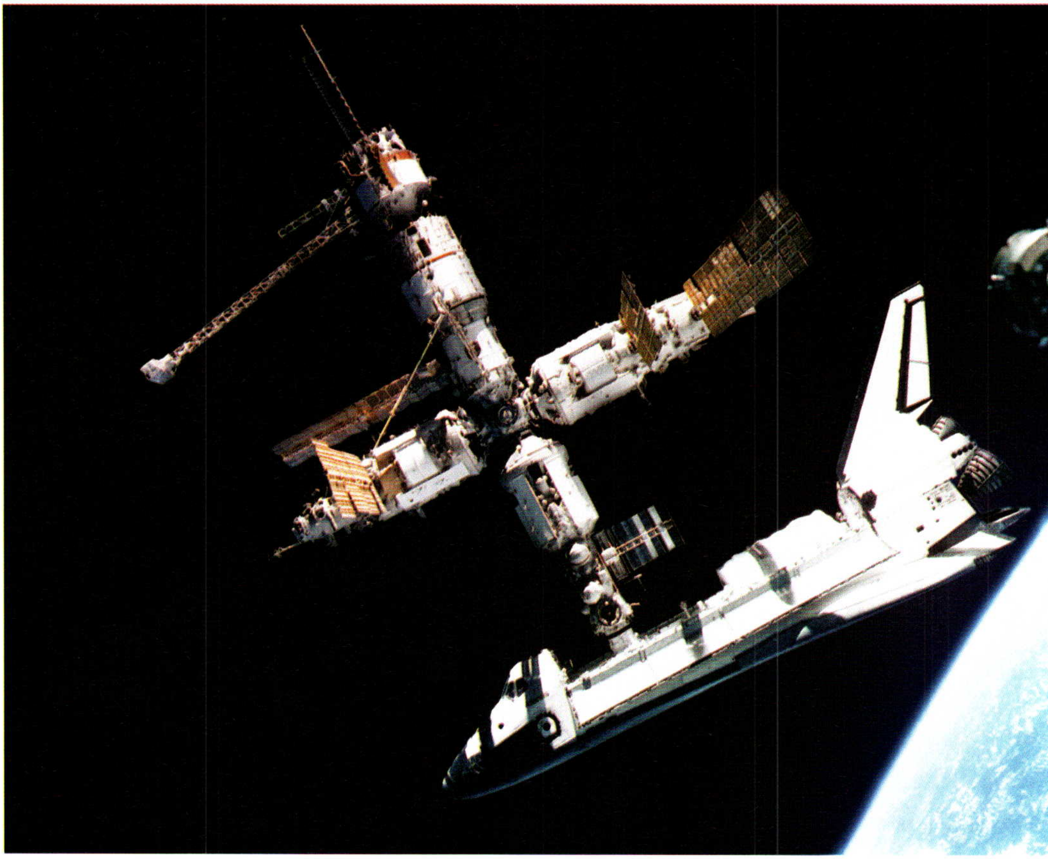
تصویری از دنباله‌دار مک‌نات که در ژانویه ۲۰۰۷ به وسیله یک منجم آماتور در استرالیا گرفته شده است.



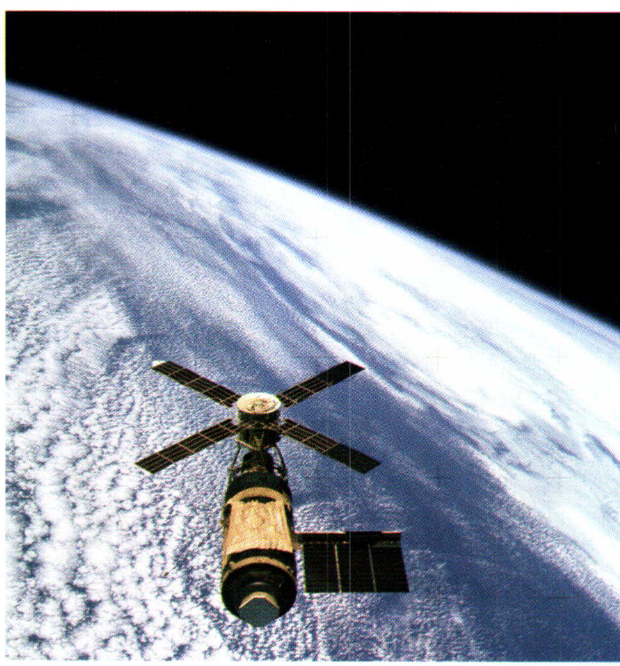
سه تصویر از تلسکوپ دو چشمی بزرگ (LBT) در ساوت گراهام آریزونا. قطر هر یک از آینه‌ها ۸٫۴ متر است. تلسکوپ بر پایه‌ای به ارتفاع ۴۰ متر قرار دارد.



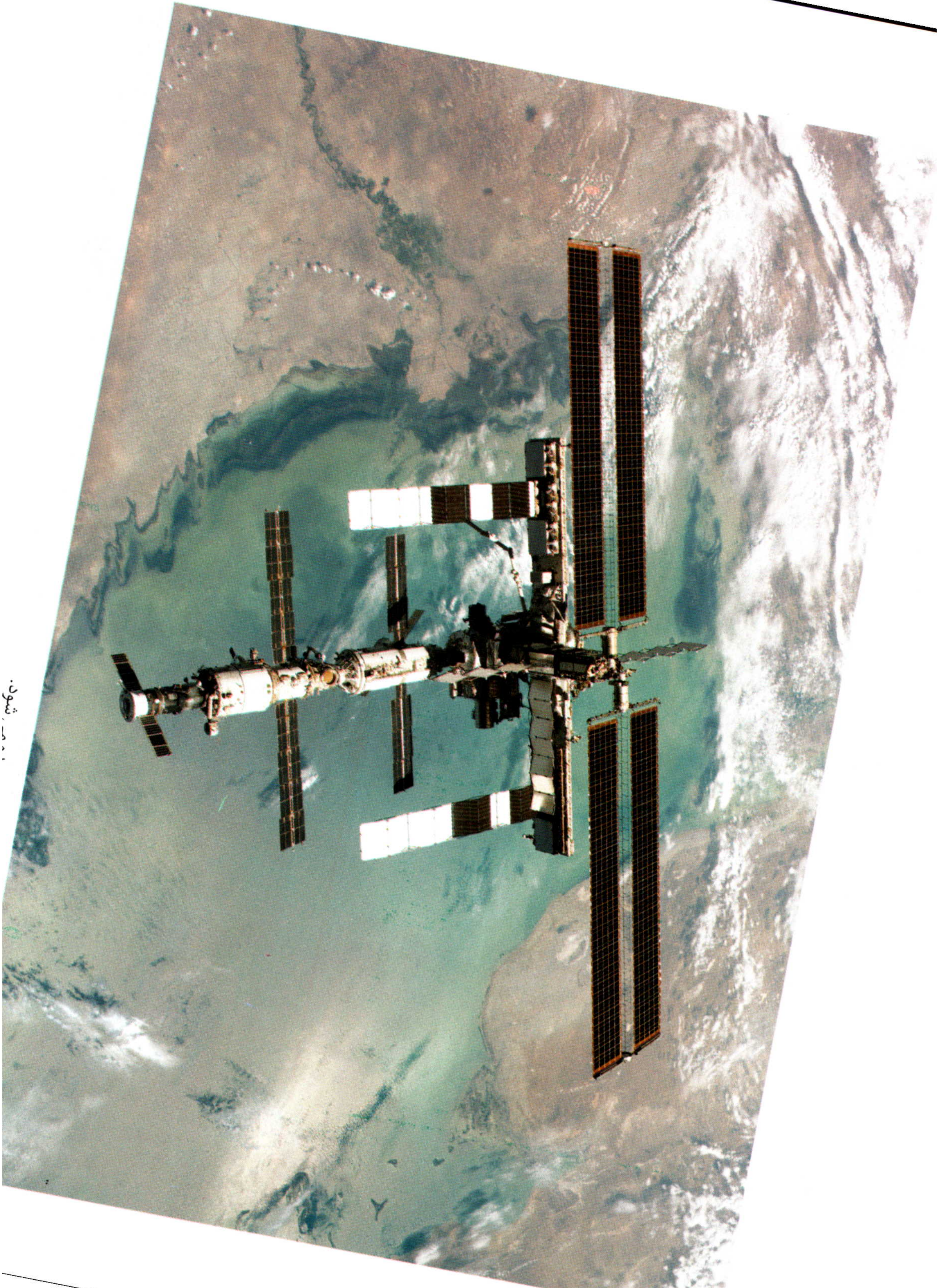
تلسکوپ یا برج خورشیدی سوئدی در رصدخانهٔ لاپالما، جزایر قناری.



شاتل فضایی، در حالی که در ایستگاه فضایی میر، پهلو می گیرد.



آزمایشگاه مدار گرد اسکای لب در سال ۱۹۷۳ با یک موشک ساترن V پرتاب شد. در این آزمایشگاه علاوه بر آزمون های علمی متعدد، رصد های نجومی درنور فرا بنفش و پرتو X هم انجام شد.





بر اثر برخورد ذرات باردار خورشیدی با جوّ زمین نورهای رنگارنگی در مناطق نزدیک به قطب دیده‌می‌شود که به آن شفق قطبی می گویند. این عکس در آلاسکا گرفته شده‌است.

فصل ۱۸

پیدایش منظومه شمسی

۱۸-۱ مقدمه

اکنون عقیدهٔ عمومی بر این است که اعضای منظومهٔ شمسی از سه نسل اند. خورشید تنها عضو نسل اول است و در حدود ۵ بیلیون سال پیش زاده شده است. سیارات، سیارک‌ها و بیشتر اجزای دیگر این منظومه، که اندکی دیرتر به وجود آمده‌اند، نسل دوم را تشکیل می‌دهند. قمرها - نسل سوم - فرزندان سیارات و متعلق به زمانی جدیدتر اند. همچنین عموماً فرض می‌شود که همهٔ این اجرام از تودهٔ ماده‌ای به وجود آمده‌اند که در آغاز متعلق به خورشید بوده است.

در طول تاریخ نجوم کوشش شده است که نحوهٔ پیدایش سیارات، به کمک فرضیه‌های گوناگون توضیح داده شود. مهم‌ترین این فرضیه‌ها عبارت اند از:

آ. فرضیهٔ سحابی یا فرضیهٔ نیروی گریز از مرکز
ب. فرضیهٔ کشندی
پ. فرضیهٔ تصادم
ت. فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه
ث. فرضیهٔ تلاطم
ج. فرضیهٔ پیش‌سیاره

۱۸-۲ فرضیهٔ سحابی یا فرضیهٔ نیروی گریز از مرکز

فرضیهٔ نیروی گریز از مرکز به افتخار پیر سیمون لاپلاس[1] (۱۷۴۹-۱۸۲۷)، ریاضی‌دان و منجم بزرگ فرانسوی که نخستین بار آن را در سال ۱۷۹۶ ارائه

1- Pierre Simon Laplace

کرد، فرضیهٔ سحابی لاپلاس نامیده می‌شود. مطابق این نظریه، زمانی خورشید تودهٔ قرص مانند گسترده‌ای از گاز سوزان بود که به کندی دوران می‌کرد و وسعت آن از مدار پلوتون، بیرونی‌ترین سیاره، هم فراتر می‌رفت. سلسلهٔ حوادث زیرین موجب پیدایش سیارات گردید:

آ. این گاز سرد شد.

ب. در نتیجه منقبض شد و شعاع قرص کاهش یافت.

پ. کاهش شعاع موجب افزایش سرعت دورانی و درنتیجه افزایش نیروی گریز از مرکز شد.

ت. وقتی که مقدار نیروی گریز از مرکز وارد بر بیرونی‌ترین نواحی خورشید بر نیروی جاذبه فزونی یافت، حلقه‌ای از بدنه اصلی خورشید جدا شد.

ث. حلقهٔ گاز به تدریج به صورت کره‌ای انقباض یافت و یکی از سیارات شد.

خورشید بازهم سردتر شد و این فرایند تکرار شد و سیارات دیگر به وجود آمدند.

انتقاد از نظریهٔ لاپلاس. گرچه این نظریه در نظر اول معقول می‌نماید ولی تأمل بیشتر در آن نشان می‌دهد که به هیچ روی قابل دفاع نیست، زیرا با چندین اصل بنیادی مکانیک ناسازگار است. دو تا از این ناسازگاری‌ها عبارت اند از:

۱- می‌توان نشان داد که حلقه‌ها پس از جدا شدن از خورشید نمی‌توانستند به صورت جسمی واحد، یا حتی اجسامی چند، انقباض یابند. بلکه نظریهٔ فیزیکی نشان می‌دهد که قسمت اعظم مادهٔ این حلقه‌ها باید مولکول به مولکول تبخیر و داخل فضا می‌شدند. باقی‌ماندهٔ آن در نتیجه اثرات کشندی خورشید بر حلقه باید به صورت تعداد بی‌شماری جسم به اندازهٔ قلوه سنگ یا کوچک‌تر درمی‌آمدند.

۲- می‌توان نشان داد که حرکت وضعی (به دور خود) و انتقالی (به دور خورشید) سیاراتی که بدین طریق به وجود آمده باشند بایستی بسیار کندتر از آن باشد که در حال حاضر مشاهده می‌شود. (یا آن که خورشید باید بسیار سریع‌تر دوران کند).

به بیان دیگر خورشید باید صاحب قسمت اعظم تکانهٔ زاویه‌ای منظومهٔ شمسی باشد و همهٔ سیارات و سیارک‌ها با هم تکانهٔ زاویه‌ای اندکی داشته باشند.

گوشزد: کمیت فیزیکی‌ای که برای توصیف تکانهٔ ناشی از حرکت مستدیر

یک جسم به کار می‌رود، *تکانهٔ زاویه‌ای* نامیده می‌شود. بنا بر تعریف تکانهٔ زاویه‌ای جسمی به جرم M و سرعت v در امتداد مدار و به فاصلهٔ r از مرکز آن برابر است با حاصل ضرب این سه کمیت یعنی

$$M\times v\times r$$

واقعیات، این نظریه را کاملاً نقض می‌کند. خورشید با ۹ر۹۹ درصد جرم منظومهٔ شمسی فقط ۲ درصد تکانهٔ زاویه‌ای کل منظومه را دارد، در حالی که همهٔ اعضای منظومهٔ شمسی روی‌هم جرمی برابر ۱ر۰ درصد جرم کل و ۹۸ درصد تکانهٔ زاویه‌ای کل را دارند.

مطابق این نظریه، سحابی اولیه، در حالی که سرد می‌شد می‌بایست متراکم شود و بخش اعظم تکانهٔ زاویه‌ای را در جرم مرکزیش (خورشید) حفظ کند و به حلقه‌هایی که جدا می‌شوند فقط کسر کوچکی از این ماند دورانی اعطا شود. ولی واقعیت این است که خورشید فقط صاحب ۲ درصد از این تکانهٔ حرکت دورانی است.

۱۸-۳ فرضیه‌های کشندی و تصادم

بر طبق فرضیهٔ کشندی، که به فرضیهٔ برخورد نیز معروف است، سیارات بر اثر کشندهای عظیمی به وجود آمدند که عبور ستاره‌ای دیگر از نزدیکی خورشید، در آن ایجاد کرد. گازهای چگالی که از خورشید جدا شد دارای حرکتی در امتداد حرکت ستارهٔ گذرنده بود. بخشی از مادهٔ جدا شده را احتمالاً این ستاره همراه خود برد. بخشی دیگر نیز مسلماً به سطح خورشید باز گشت. قسمت سومی نیز وجود داشت که نیروی گریز از مرکز وارد بر آن به اندازه‌ای بود که بر جاذبهٔ گرانشی فایق آید. این قسمت سیارات متعدد را به وجود آورد. این فرضیه که در سال ۱۹۰۰ به وسیلهٔ فارست مولتن[1] و تامس چمبرلین[2] از دانشگاه شیکاگو پیشنهاد شد، در ابتدا نظریهٔ «خرده سیارات» نامیده شد. این نامگذاری حاکی از آن است که نتیجهٔ بلافصل عمل کشندی صرفاً ایجاد سیاراتی خرد بود. این خرده سیارات با جذب مادهٔ پراکندهٔ حول و حوش خود منظومه‌ای از نه سیاره شناخته شده را به وجود آوردند.

فرق فرضیه برخورد با فرضیه کشندی در این است که در فرضیهٔ نخست برخورد خورشید و ستارهٔ میهمان، در واقع یک تصادم بود.

انتقاد. محاسباتی که بر فرمول‌های بنیادی فیزیک مبتنی است نشان می‌دهد که هیچ یک از این دو فرضیه قابل قبول نیست. در اینجا نیز دشواری اصلی

1- Forrest R. Moulton
2- Thomas C. Chamberlin

مربوط می‌شود به توزیع مشهود تکانه‌های زاویه‌ای، یعنی این که خورشید فقط ۲ درصد و سیارات نزدیک ۹۸ درصد تکانهٔ زاویه‌ای را دارند. استاد هنری نوریس راسل[1] از دانشگاه پرینستن نتیجه گرفت که با هیچ فرضیهٔ معقولی که به یک برخورد مربوط می‌شود نمی‌توان بیش از ده درصد از تکانهٔ زاویه‌ای شناخته شده برای هر تن از جرم سیاره‌ای را توجیه کرد. علاوه بر این‌ها، احتمال تصادم بسیار اندک است. محاسبات حاکی از آن اند که در ۵ بیلیون سال گذشته حداکثر ده تصادم میان ۱۰۰ میلیون ستارهٔ کهکشان ما روی داده است.

۴-۱۸ فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه

فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه که به وسیلهٔ منجم انگلیسی ر. ا. لیتلتن[2] ارائه شد دارای این مزیت بزرگ بر فرضیه‌های پیشین است که واقعیت‌های مشهود مربوط به تکانهٔ زاویه‌ای را نقض نمی‌کند. بنا بر فرضیهٔ لیتلتن خورشید در آغاز یک ستارهٔ دوگانه بود و ستارهٔ عابر با ندیم خورشید تصادم کرد. حوادثی که پس از این تصادم روی داد و ممکن است در حدود یک ساعت طول کشیده باشد، عبارت اند از:

آ. ستاره‌های متصادم (ستارهٔ متجاوز و ندیم خورشید) پس از تصادم نواری از ماده را پدید آوردند که بزرگی آن به اندازه‌ای بود که می‌توانست همهٔ سیارات و اقمار و غیره را به وجود آورد.

ب. دو ستاره (مانند شارهای بیلیارد پس از برخورد هریک به راهِ خود رفتند و با خود قسمت‌هایی از این نوار راکه تحت تأثیر میدان‌های گرانشی‌شان بود، بردند.

پ. اعضای مختلف منظومهٔ شمسی از بخش مرکزی مادهٔ به جا مانده پدید آمد. تکانهٔ زاویه‌ای ماده در این بخش مرکزی می‌تواند با مقادیر مشهود متناظر باشد.

انتقاد. محاسبات نشان می‌دهد که ۹۴ درصد نوار را ستاره‌های متصادم با خود می‌برند و ٦ درصد از بخش مرکزی پیش از آن که زیر تأثیر جاذبهٔ خورشید به تنهایی قرار گیرد، تا مدتی ستارهٔ متجاوز و ندیم خورشید را دنبال می‌کند. احتمال آن که سیارات از این ٦ درصد ماده تشکیل شده باشند فوق‌العاده اندک است. رویدادِ بی‌اندازه محتمل‌تر آن است که آثار کشندیِ ناشی از ستارهٔ متجاوز و ندیم خورشید این بخش از نوار را به تکه‌های بسیار پاره پاره کند که این تکه‌ها سرانجام در فضای مجاور پراکنده شوند.

1- Henry Norris Russel

2- R. A. Lyttleton

۵-۱۸ فرضیهٔ تلاطم

* فرضیه‌هایی که تاکنون به آنها اشاره شد، عمدتاً به لحاظ تاریخی اهمیت دارند. فرضیه‌های زیرین، که صورت‌های جدید فرضیهٔ سحابی لاپلاس اند، اساس فیزیکی محکم‌تری دارند. این توجه مجدد به فرضیهٔ سحابی، معلول بسط نظریه‌هایی بود که بر اساس آن‌ها، انتقال تکانهٔ زاویه‌ای از ناحیهٔ مرکزی به سحابی اطراف به کمک نیروی مغناطو ئیدرودینامیکی انجام می‌گرفت. بنابراین خورشید اولیه تکانهٔ زاویه‌ای خود را از طریق باد خورشیدی از دست می‌داد. *

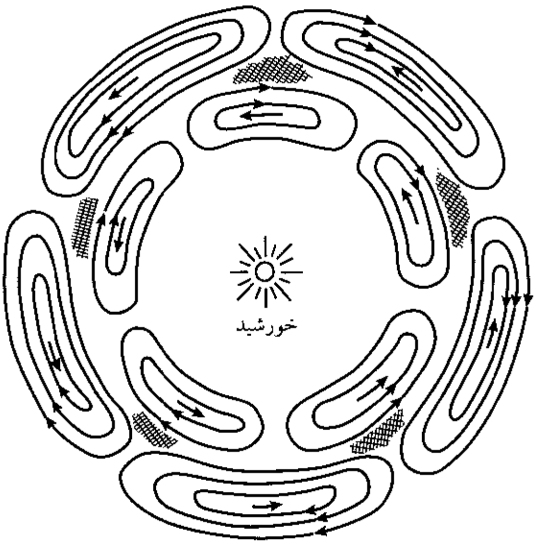
یکی از بهترین فرضیه‌ها، فرضیهٔ تلاطم است که کار فیزیکدان آلمانی کارل فریدریش فن وایتس‌زکر[1] است. نقطهٔ آغاز این فرضیه، که در ۱۹۴۵ انتشار یافت، شبیه فرضیهٔ لاپلاس است. مطابق نظریهٔ وایتس زکر خورشید، زمانی در جریان پیدایش به وسیلهٔ ابر قرص‌مانندی از گاز احاطه شده بود که به کندی دوران می‌کرد. قطر این قرص از مرتبهٔ بزرگی قطر کنونی منظومهٔ شمسی بود ودما در فواصل مختلف از خورشید مرکزی نظیر دمایی بود که اکنون نه سیارهٔ منظومهٔ شمسی در فواصل خود دارند (مثلاً دمای گازهای قرص در فاصلهٔ زمین معادل دمای کنونی زمین فرض می‌شود). جرم این سحابی یک صدبار بیش از جرم کل سیارات و تقریباً برابر با ده درصد جرم خورشید فرض می‌شود. سحابی به طور عمده متشکل بود از ئیدروژن و هلیوم و فقط ۱ درصد عناصر سنگین‌تر. از قرار معلوم زنجیرهٔ حوادث زیر به دنبال حالت اولیه روی داده است:

آ. پس از ۲۰۰ میلیون سال ملکول‌های ئیدروژن و هلیوم از قرص خارج و در فضا پراکنده شدند و در نتیجه جرم گازها از ۱۰ درصد جرم خورشید در آغاز به مقدار ۰٫۱ درصد کنونی آن کاهش یافت ولی تکانهٔ زاویه‌ای اولیهٔ سحابی تغییر نکرد، به این طریق مقدار بزرگ کنونی این کمیت توضیح داده می‌شود.

ب. در آن ۲۰۰ میلیون سال، در نتیجهٔ تفاوت سرعت میان قسمت‌های مختلف سحابی - سرعت‌های زیاد در نزدیکی خورشید و سرعت‌های کم در فواصل دور از آن - حجره‌های تلاطم به وجود آمدند. مادهٔ موجود در هر حجره در جهت حرکت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کرد در حالی که خود حجره در خلاف جهت آن (به شکل ۵-۱۸ نگاه کنید). بنا بر این فرضیه سیارات در نواحی بدون راه گریز میان حجره‌ها تشکیل شدند. این نواحی، به علت وجود جریان‌های متضاد در مرزهای‌شان، با جذب مواد از حجره‌های

1- Carl Friedrich von Weizsäcker

مجاور به سرعت رشد کردند و از این رو موجب تجمع مقدار زیادی ماده شدند که در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت دوران می‌کرد. سرانجام پنج تا از این توده‌های متساوی‌الفاصله به هم می‌پیوستند و سیاره‌ای در فاصلهٔ معین را به وجود آورد.



شکل ۵-۱۸. فرضیهٔ تلاطم. بر اثر اختلاف سرعت در قسمت‌های مختلف سحابی، حجره‌های تلاطم تشکیل شد. در این شکل پنج حجرهٔ تلاطم در مرز بیرونی و پنج حجرهٔ مجاور آنها در داخل نشان داده شده است. هریک از حجره‌ها در جهت حرکت عقربه‌های ساعت دوران می‌کند، ولی مراکز حجره‌ها در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به دور خورشید می‌گردند.

در فواصل میان حجره‌ها توده‌های عظیمی از ماده، گرد آمد. بعضی از توده‌ها در شکل با هاشور نشان داده شده است. مطابق نظریهٔ فن وایتس زکر، این توده‌ها، سرانجام به تکوین سیاره‌ای در آن فاصله از خورشید منجر شدند.

انتقاد. بسیاری از چیزهایی را که دربارهٔ منظومهٔ شمسی می‌دانیم می‌توان بر اساس فرضیهٔ فن وایتس‌زکر توضیح داد. اما سؤال‌های بسیاری نیز بی‌جواب می‌ماند. مثلاً این فرضیه مطالب زیر را توضیح می‌دهد:

آ. این واقعیت که سیارات و سیارک‌ها تقریباً در یک صفحهٔ مشترک حرکت می‌کنند،

ب. این واقعیت که صفحهٔ استوایی خورشید تقریباً بر صفحهٔ مداری سیارات منطبق است،

پ. این که سیارات تقریباً تمام تکانهٔ زاویه‌ای کل سیستم را در خود دارند،

ت. این که فواصل سیارات از الگوی منظمی که با قانون بُد بیان می‌شود، تبعیت می‌کند.

شمار سؤال‌هایی که هنوز بی‌جواب اند، بسیار زیاد است. از این جمله اند:

۱- چگونه قطره‌ها و ذرات، کلوخه‌ها را تشکیل دادند؟

۲- از چه طریقی چندین کلوخه با هم یکی شدند و سیاره‌ای را به وجود آوردند؟

۳- چرا اورانوس بر گرد محوری می‌چرخد که تقریباً عمود بر محور

صفحهٔ مداری است؟
۴- چرا معدودی از قمرها دارای حرکت معکوس اند؟

۶-۱۸ فرضیهٔ پیش‌سیاره

فرضیهٔ پیش‌سیاره که در سال ۱۹۵۰ به وسیلهٔ منجم هلندی تبار آمریکایی، ج. پ. کوئیپر[1] پیشنهاد شد، چندین قسمت از نظریهٔ سحابی لاپلاس را تغییر می‌دهد.

بر طبق این فرضیه:

آ. گوی بزرگی از گاز و غبار، بر اثر نیروهای گرانشی و گریز از مرکز، تبدیل به قرصی شد که به سرعت دوران می‌کرد. نود و پنج درصد مادهٔ اصلی در نزدیکی مرکز قرص جمع شد (دیری نگذشت که این مواد، به خورشید جوان سرد تبدیل شدند) و ۵درصد دیگر در قرص بجا ماند (که پس از چندی پیش سیاره‌های منظومهٔ شمسی گردیدند).

ب. تلاطم بر قرص حاکم بود و تجمع ماده در قسمت‌های مختلف آن پیوسته تشکیل می‌شد و بی‌درنگ از بین می‌رفت. با وجود این زمانی فرا رسید که چنان تجمعی از ماده پدید آمد که جاذبهٔ گرانشی آن به اندازه‌ای بود که می‌توانست بر نیروهای گسلندهٔ تلاطم چیره شود. اندازه و جرم چنین تجمعی، با جذب ماده از محیط مجاور به سرعت رشد کرد و سرانجام پیش‌سیاره‌ای شد (یعنی قطعه بزرگی از گاز و غبار که می‌رفت تا به سیاره‌ای تبدیل شود). پیش سیاره‌های دیگر نیز به طرزی مشابه در فواصل گوناگون از خورشید تشکیل شدند. پیش سیاره‌های نزدیک به خورشید جرم زیادی در خود جمع نکردند، زیرا در آن فواصل قبلاً خورشید خود بیشتر مواد را جذب کرده بود. پیش سیاره‌هایی هم که از خورشید خیلی دور بودند چندان بزرگ نشدند، زیرا در این نواحی بیرونی قرص مقدار ماده اندک بود.

پ. خورشید جوان وسرد، به انقباض و گرم شدن ادامه داد. سرانجام در حدود ۵ بیلیون سال پیش هستهٔ آن به قدری گرم شد که گداخت ئیدروژن به هلیوم در آن آغاز گردید و خورشید با قدرت تمام به گسیل تابش و باد خورشیدی پرداخت. تابش و باد خورشیدی (۱) تمام ماده‌ای که بین پیش سیاره‌های منظومه وجود داشته جاروب کرد و (۲) پیش سیاره‌ها را گرم کرد و سبب شد که مقدار زیادی از جرم آنها به فضای میان ستاره‌ها بگریزد.

در این جریان جاروب کردن، زمین ۹ر۹۹ درصد(!) جرم پیش سیاره‌ای

1- G. P. Kuiper

خود را از دست داد (جرم از دست رفته عمدتاً ئیدروژن و هلیوم بود). پیش سیارهٔ مشتری نیز تقریباً همهٔ جرمش (۹۵ درصد) را در جریان تبدیل به سیارهٔ مشتری از دست داد.

* امروزه رئوس فرضیهٔ پیش‌سیارهٔ کوئیپر، مورد قبول منجمان است. صورت‌های گوناگونی از این فرضیه ارائه شده است که در جزئیات با یکدیگر فرق دارند و ویژگی‌های خاصی را توضیح می‌دهند. فرایندهای بر افزایش دانه‌ها و خرده‌سنگ‌ها و پیدایش خرده سیارات و بالاخره تکوین پیش‌سیاره‌ها از طریق جذب مادهٔ اطراف، در همهٔ آن‌ها مشترک است.

پیش از آن که فرایندهای گرما هسته‌ای در خورشید آغاز شود، دمای بخش داخلی منظومهٔ شمسی به اندازه‌ای شده بود که مواد فرار مانند آب، متان و آمونیاک به حالت گازی درآمده باشند و بتوانند این ناحیه را ترک کنند. بنابراین خرده سیارات و سپس پیش‌سیاره‌های این قسمت بیشتر متشکل بودند از مواد غیرفرّار چون آهن وسیلیکات‌ها (سیارات داخلی). اما در ناحیهٔ بیرونی‌تر که دمایش کمتر بود، پیش‌سیاره‌ها می‌توانستند از مواد فرّار تکوین یابند (سیارات بیرونی). شروع فرایندهای گرماهسته‌ای در مرکز خورشید، موجب تشکیل باد خورشیدی شد که انتقال تکانهٔ زاویه‌ای را به نواحی بیرونی امکان‌پذیر ساخت. *

۷-۱۸ پیدایش قمرها

پیش سیاره‌ها نیز در جریانی نظیر پیدایش خود، بر اثر نیروهای گرانشی و گریز از مرکز به صورت قرص پخی درآمدند و در این قرص‌ها تجمع ماده (پیش قمرها) تکوین یافت.

گوشزدها: ۱- عطارد و زهره قمر ندارند زیرا دوران کند آنها فرصت نمی‌داد که ماده به اندازهٔ کافی سرریز کند و اقمار تشکیل شوند.

۲- بسیار محتمل به نظر می‌رسد که قمر زمین، ماه، زمانی پیش سیارهٔ مستقلی بوده است. یکی از دلایلی که برای این مطلب اقامه می‌شود این است که مدار ماه تقریباً در همان صفحهٔ سیارات قرار دارد نه در صفحهٔ استوای زمین.

۳- نظریهٔ کوئیپر برای ده دوازده قمری که در مدارهایی هم سطح و تقریباً مستدیر (که بیشتر قمرها دارند) حرکت نمی‌کنند، توضیحی ارائه می‌دهد. این نظریه فرض می‌کند که این قمرها در آغاز به فاصلهٔ بسیار زیادی از پیش‌سیاره مادر تشکیل شدند و وقتی که پیش سیاره قسمت اعظم جرم خود را از دست داد، زنجیرهٔ حوادث زیرین صورت گرفت:

آ. سلطهٔ گرانشی سیاره از بین رفت و این قمرها زیر نفوذ میدان گرانشی خورشید قرار گرفتند، یعنی قمرها سیاره شدند.
ب. این اجرام بعد از چندین بارگردش به دور خورشید بار دیگر به وسیلهٔ جو گستردهٔ سیاره، که اینک در مداری کاملاً متفاوت با مدار اولیه حرکت می‌کرد، ربوده شدند.
۴- سیارهٔ پلوتون با همسایگانش فرق بسیار دارد (اندازهٔ کوچک، حرکت وضعی کند، زاویهٔ میل بسیار زیاد و خروج از مرکز نسبتاً زیاد مدار). منطقی است فرض شود که این سیاره، زمانی یکی از اقمار نپتون بوده است.

۱۸-۸ پیدایش سیارک‌ها

پیدایش سیارک‌ها به صورت زیر تبیین شده است:

پیش سیارهٔ بسیار پرجرم مشتری، بیشتر موادی را که در فضای بین مریخ و خودش قرار داشت جذب کرد، آنچه باقی ماند فقط برای تشکیل چند جرم کوچک کفایت می‌کرد. بعدها یک یا چند جفت از این اجرام کوچک با یکدیگر برخورد کردند و بسیاری از سیارک‌ها و شهاب‌سنگ‌های امروزی را به وجود آوردند.

۱۸-۹ پیدایش ستارگان دنباله‌دار

بنابر فرضیهٔ پیش‌سیاره، ستارگان دنباله‌دار در حلقه‌ای نزدیک به لبهٔ قرص یخ شدهٔ گاز و غبار تشکیل شدند. مدار این ستارگان دنباله‌دار، در اثر نیروی گرانشی پلوتون یکی یکی یا چندتا چندتا دستخوش تغییرات عمده‌ای شد. با گذشت زمان چنان شد که ستارگان دنباله‌دار حجم وسیعی از فضای دور خورشید را اشغال کردند که وسعت آن تا فواصل ۱۰۰،۰۰۰ واحد نجومی نیز می‌رسید.

در حال حاضر فرض می‌شود که بیش از یک هزار بیلیون (شاید هم یک میلیون بیلیون) ستارهٔ دنباله‌دار در فضا وجود داشته باشد که جرم کل آنها بالغ بر چندصد برابر جرم زمین است.

همچنین فرض می‌شود که گه گاه، ستاره‌ای که از نزدیکی ما می‌گذرد مدار ستارهٔ دنباله‌داری را می‌پریشد و موجب می‌شود که سفری را آغاز کند که سرانجام آن را به خورشید نزدیک‌تر می‌کند و آن وقت است که به شیئی برای رصدهای نجومی بدل می‌شود.

۱۸-۱۰ آیندهٔ منظومهٔ شمسی

تا آنجا که می‌دانیم تغییرات عمده‌ای با پیر شدن خورشید در منظومهٔ شمسی روی خواهد داد. خورشید اکنون سنین بلوغ را می‌گذراند (نگاه کنید به بخش ۷-۹) و انرژی خود را از فرآیندهای گرما هسته‌ای، یعنی از واکنشی که ئیدروژن را به هلیوم تبدیل می‌کند به دست می آورد. این دوران احتما لاً تا چند (پنج یا بیشتر) بیلیون سال دیگر ادامه خواهد یافت.

سپس خورشید راهی را آغاز خواهد کرد که به غولی سرخ می‌انجامد (به بخش ۸-۹ نگاه کنید). در آن زمان:

آ. خورشید بزرگ‌تر خواهد شد و احتما لاً مدار عطارد یا حتی مدار زهره را فرا خواهد گرفت.

ب. دمای سطح خورشید کاهش خواهد یافت و خورشید سرخ‌تر به نظر خواهد رسید.

پ. مقدار تابشی که از خورشید به زمین خواهد رسید احتما لاً هزار برابر خواهد شد. بر روی زمین در نتیجهٔ این حوادث: (۱) اقیانوس‌ها تبخیر خواهند شد، (۲) ملکول‌هایی که جو را تشکیل می‌دهند انرژی کافی کسب می‌کنند و به فضا خواهند گریخت، (۳) زمین به صورت خاکستری سوخته و سیاه درخواهد آمد.

گوشزد: در آن زمان نزدیک‌ترین مکانی که شرایط جوی مناسب برای آدمی خواهد داشت احتمالاً زحل خواهد بود.

مرحلهٔ غول سرخ برای خورشید احتما لاً چند صد میلیون سال طول خواهد کشید و به دنبال آن گذر به مرحلهٔ کوتولهٔ سفید روی خواهد داد (به بخش ۱۰-۹ نگاه کنید). یعنی:

آ. خورشید کوچک‌تر خواهد شد (سرانجام کوچک‌تر از سیارهٔ زمین).

ب. رنگ خورشید تغییر کرده، آبی یا سفید خواهد شد.

پ. روشنی خورشید به $\frac{۱}{۱۰،۰۰۰}$ روشنی کنونی‌اش خواهد رسید.

ت. خورشید در چشم یک ناظر فرضی زمینی چون نقطه‌ای نورانی به نظر خواهد آمد (نه یک قرص).

در نتیجهٔ این رویدادها، بر روی زمین: (۱) دما به شدت نزول خواهد کرد و سرانجام به صفر مطلق نزدیک خواهد شد، (۲) تاریکی در ۲۴ ساعت روز حاکم خواهد بود، (۳) ستارگان همواره در آسمان دیده خواهندشد که در میان

آنها یکی - خورشید - خیلی پرنورتر از دیگران خواهد بود). سیارات دیده نخواهند شد و ماهی بسیار رنگ پریده اهلهٔ خود را تکرار خواهد کرد و گه‌گاه ستارهٔ دنباله‌داری در نزدیکی آن ستارهٔ خیلی پرنور دیده خواهد شد.

همهٔ این حوادث - دوران بسیار داغ و دوران بسیار سرد - بیلیون‌ها سال دیگر روی خواهد داد و این زمان دراز می‌تواند برای پیشبرد ارزش‌های اخلاقی، معنوی و علمی، بر سیاره‌ای که اکنون در اختیار آدمی است، مورد استفاده قرار گیرد.

ضمیمه

تلسکوپ‌های دست‌ساخت

مقدمه

تلسکوپ‌های بسیار خوبی با استفاده از «مصالح» ساده ولی با علاقه و زحمت زیاد به‌دست منجمان متفنن، که تعدادشان پیوسته در افزایش است، طرح و ساخته می‌شود.

ساختمان بعضی از تلسکوپ‌های دست‌ساخت، ساده است؛ برخی دیگر از حیث پیچیدگی شانه به شانهٔ وسایلی می‌ساید که در کارگاه‌های تخصصی ساخته شده‌اند. در هر مورد، تصمیم‌های زیادی را باید در جریان ساختن تلسکوپ اتخاذ کرد.

نخستین تصمیمی که باید گرفت این است که آیا می‌خواهیم تلسکوپی شکستی (با شیئی عدسی) بسازیم یا تلسکوپی بازتابی (با شیئی آینه). برتری‌های نسبی هرکدام را در زیر برمی‌شمریم.

آ. مزایای تلسکوپ شکستی

۱. از این دو نوع، تلسکوپی که شیئی آن عدسی است، درصد نوری که منتقل می‌کند اندکی بیشتر است - یک عدسی با قطر آزاد ۵ر۱۲ سانتیمتر معادل آینه‌ای است به قطر آزاد ۷۵ر۱۳ سانتیمتر.

۲. بررسی نواحی وسیعی از آسمان با تلسکوپ‌های شکستی به وجه کارآتری انجام می‌گیرد. میدان یک تلسکوپ بازتابی محدود به کسری از درجه است.

۳. هزینهٔ نگهداری و تعمیر تلسکوپ‌ها، کم است و برای تلسکوپ‌های شکستی اندکی کمتر است. اندود آلومینیومی آینه به تدریج خراب می‌شود و باید هر چند سال یک بار تجدید شود. تلسکوپ شکستی با گذشت زمان زوال نمی‌پذیرد. تنظیم‌های آن، یک بار که انجام شد، برای همیشه خواهد بود.

ب. مزایای تلسکوپ بازتابی

۱. آینه کاملاً غیر رنگی (آکروماتیک) است، حال آن که در عدسی، حتی پس از تصحیح، نقیصهٔ رنگی اندکی باقی می‌ماند.

۲. برای کاستن نقیصهٔ رنگی به حداقل قابل قبول، باید نسبت $\frac{\text{فاصله کانونی}}{\text{قطر}}$ عدسی شیئی بزرگ† مثلاً ۱۵ تا ۲۰ باشد، در حالی که شیئی آینه‌ای کج‌نمایی رنگی ندارد و فاصلهٔ کانونی معمولاً ۳، ۴ و یا ۵ برابر قطر است. کوچک بودن نسبت فوق به معنی کوتاه بودن لولهٔ تلسکوپ است و درنتیجه سوار کردن و حمل و نقل آن از جایی به جای دیگر آسان خواهد بود. همچنین، تلکسوپ‌های شکستی‌ای که نسبت کانونی‌شان بزرگ است، از نظر کار عکس‌برداری کند اند. شیئی‌های آینه‌ای در کار عکس‌برداری اجرام منفرد و خوشه‌های ستاره‌ای هر دو بسیار کارآتر اند.

۳. احتمال موفقیت در ساختن تلسکوپ بازتابی، خاصه برای یک مبتدی، بیشتر است. برای یک مبتدی احتمال این که بتواند یک آینه کاو خوب با انحنای مناسب بر یک وجه بسازد بسیار بیشتر از آن است که بتواند عدسی غیر رنگی خوبی با انحنای مناسب در چهار سطح، که دوتای آن‌ها باید بر هم منطبق شود، بسازد.

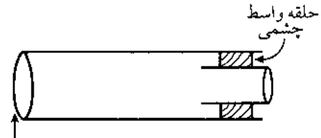
۴. هزینهٔ تلسکوپ بازتابی نیز کمتر است. هزینهٔ ساخت یک تلسکوپ بازتابی معمولاً کمتر از ۵۰ درصد هزینهٔ ساخت تلسکوپی شکستی با شیئی‌ای به همان اندازه است.

بیشتر منجمان متفنن پس از سنجیدن این عوامل، تصمیم به ساختن تلسکوپی بازتابی می‌گیرند. دستورالعمل مشروح برای هر دو نوع تلسکوپ در زیر خواهد آمد.

تلسکوپ شکستی دست‌ساخت

یک تلسکوپ شکستی نجومی تشکیل می‌شود از یک عدسی شیئی که در قسمت جلوی لولهٔ شیئی جای می‌گیرد و یک چشمی که در انتهای عقب لوله سوار می‌شود. به شکل ض ۱ نگاه کنید.

شکل ض ۱ تلسکوپ شکستی نجومی. عدسی جلویی به سمت شیئی قراول می‌رود و به شیئی یا عدسی شیئی موسوم است. کار چشمی بزرگ کردن تصویری (تصویر اول) است که شیئی تشکیل داده است. قطر لولهٔ چشمی معمولاً کوچک‌تر از قطر لولهٔ شیئی است: حلقهٔ واسطی از جنس چوب یا مواد دیگر برای پرکردن شکاف به کار می‌رود.



† هرچه نسبت $\frac{\text{فاصلهٔ کانونی}}{\text{قطر}}$ در یک عدسی بیشتر باشد کج نمایی رنگی آن کمتر مورد ایراد است. فاصلهٔ کانونی یک شیء غیر رنگی با کج نمایی رنگی قابل قبول، با دقت نسبتاً خوب به وسیلهٔ فرمول $f = 5d^2$ داده می‌شود که در آن f فاصلهٔ کانونی بر حسب اینچ و d قطر برحسب اینچ است.

آ. عدسی شیئی

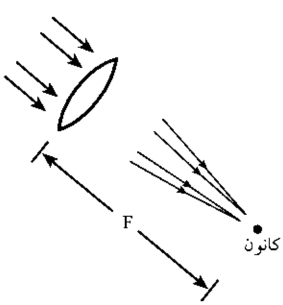
برای مبتدی بهتر آن است که شیئی حاضر و آماده‌ای بخرد و از آرزوی ساختن آن چشم بپوشد. انواع خوبی از عدسی‌های اندودهٔ غیررنگی، بی‌نقص یا نسبتاً بی‌نقص، با عدد f بزرگ، را به قیمت‌های معقول می‌توان خرید و در اولین تلاش خود برای ساختن یک تلسکوپ شکستی از آن استفاده کرد.

در زیر یک چنین عدسی غیر رنگی با قطر ۸ سانتیمتر، فاصلهٔ کانونی ۱۰۰ سانتیمتر و عدد f برابر ۵ر۱۲ به عنوان مثال به کار خواهد رفت. فرمول‌های کلی داده خواهد شد تا برای شیئی‌های دیگر از آن‌ها استفاده شود.

معنی اصطلاحات مختلف در جای دیگری در این کتاب داده شده است. در اینجا فقط به اختصار به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

غیررنگی (آکروماتیک) معمولاً به این معنی است که عدسی متشکل از دو جزء به‌هم‌چسبانده است که یک واحد بدون نقیصهٔ رنگی را به وجود می‌آورند. (به بخش ۵-۵ نگاه کنید).

شکل ض ۲ فاصلهٔ کانونی، فاصلهٔ میان مرکز عدسی و کانون آن است. معمولاً آن را یا بر حسب اینچ و یا بر حسب میلیمتر بیان می‌کنند.

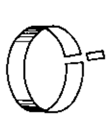


اندوده معمولاً به این معنی است که سطوح عدسی با اندودی از فلوئورورمنیزیوم پوشانده شده است تا انعکاس نور از این سطوح را از بین ببرد. این اندود فوق‌العاده نازک است. ضخامت آن برابر با یک چهارم طول موج نور سبز متمایل به زرد است (به بخش ۱۲-۵ نگاه کنید).

فاصلهٔ کانونی عبارت است از فاصلهٔ میان مرکز عدسی و کانون آن. این فاصله را به آسانی می‌توان به‌دست آورد: عدسی را عمود بر اشعه آفتاب قرار دهید و کانون آن را بر روی پرده‌ای پیدا کنید و سپس فاصلهٔ F را اندازه بگیرید. به شکل ض ۲ نگاه کنید. همچنین نگاه کنید به بخش ۳-۵.

عدد f که به نسبت کانونی نیز موسوم است عبارت است از نسبت فاصلهٔ کانونی به قطر عدسی (گشودگی). در مثال مورد ملاحظه نسبت کانونی برابر است با ۵ر۱۲ = ۱۰۰/۸. این نسبت در کار عکاسی دارای اهمیت خاص است. مقادیر کوچک نسبت f با سرعت‌های زیاد در عکس‌برداری متناظر است و مقادیر بزرگ آن با عکس‌برداری‌های کُند، یعنی زمان‌های عکاسی زیاد.

شکل ض ۳ یکی از دو حلقهٔ باریکی که پارهٔ کوچکی از آن بریده شده، و برای سوار کردن عدسی شیئی در لوله به کار می‌رود.



ب. لولهٔ شیئی

لوله‌های مقوایی، از نوعی که برای پست کردن نقشه‌ها و تقاویم استفاده می‌شود، کاملاً کفایت می‌کند. لولهٔ آلومینیومی بهتر است. داخل لوله باید کاملاً با رنگ سیاه یکدستی پوشانده شود.

لولهٔ آلومینیومی با قطر داخلی ۵۰ر۸ و قطر خارجی ۳۵ر۸ سانتیمتر به

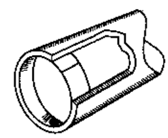
خوبی یک عدسی به قطر ۸ سانتیمتر را در خود جای می‌دهد. طول لولهٔ تلسکوپ باید به اندازهٔ ۵ر۲ سانتیمتر بلندتر از فاصلهٔ کانونی شیئی باشد. لوله‌ای به طول ۵ر۱۰۲ سانتیمتر برای عدسی‌ای به فاصلهٔ کانونی یک متر کفایت خواهد کرد.

پ. سوار کردن شیئی در لوله

راه‌های زیادی برای اتصال شیئی به لوله وجود دارد. همیشه هدف آن است که اتصال محکمی پدید آید، بی آن که بخش قابل ملاحظه‌ای از سطح عدسی پوشانده شود (قطر «آزاد» عدسی باید هر چه نزدیک‌تر به قطر «واقعی» آن باشد).

در لولهٔ آلومینیومی، محل استقرار شیئی را با دو حلقهٔ باریک (به عرض حدود ۵ر۰ سانتیمتر) که قطعهٔ کوچکی (مطابق شکل ض ۳) از آن بریده شده و بقیه درست قالب سطح داخلی لوله است، می‌توان ساخت. حلقه‌ها را می‌توان با دو یا سه پیچ کوچک به لوله محکم کرد. به شکل ض ۴ نگاه کنید.

شکل ض ۴ حلقه‌ها منهای پارهٔ بریده شده درست قالب داخل لوله اند (در اینجا فقط یک حلقه نشان داده شده است). عدسی بین دو حلقه جای می‌گیرد.



ت. چشمی

سه نوع متداول چشمی (هویگنسی، کل‌نر و ارتوسکوپیک) در بخش‌های ۹-۵، ۱۰-۵ و ۱۱-۵ شرح داده شده است. پیش از تهیهٔ این قسمت از تلسکوپ باید توضیحات مربوط همراه با توجه خاصی به مزایای هر نوع، به دقت تمام بررسی شوند. فرض کنید که چشمی کل‌نری با فاصلهٔ کانونی ۵ر۱۲ میلیمتر، اندودشده، با میدان دید ظاهری °۴۰ برای شیئی ۸ سانتیمتری انتخاب شده باشد. چشمی در لولهٔ کوچکی سوار شده است که قطر خارجی آن ۲ر۳ سانتیمتر است.

ث. محاسبات

چون داده‌های نور شناختی شیئی و چشمی معلوم باشد، بسیاری از خواص ترکیب آن‌ها (یعنی تلسکوپ) را می‌توان محاسبه کرد:

۱.

$$\text{بزرگ‌نمایی} = \frac{\text{فاصلهٔ کانونی شیئی}}{\text{فاصلهٔ کانونی چشمی}}$$

برای شیئی و چشمی یاد شده

$$\text{بزرگ‌نمایی} = \frac{۱۰۰}{۱ر۲۵} = ۸۰ \text{ مرتبه}$$

.۲

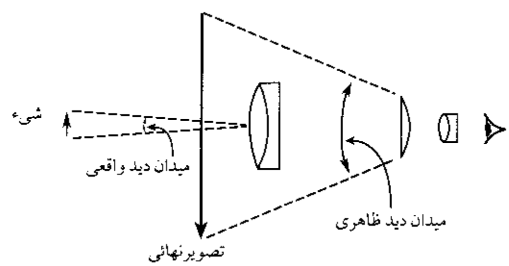
$$\text{میدان دید واقعی} = \frac{\text{میدان دید ظاهری چشمی}}{\text{بزرگ‌نمایی}}$$

در مثال ما میدان دید ظاهری چشمی °۴۰ و بزرگ‌نمایی ۸۰ است. بنابراین

$$\text{میدان دید واقعی} = \frac{۴۰}{۸۰} = \frac{۱}{۲}^{\circ}$$

معنی جواب بالا این است که در تلسکوپی که با این شیئی و چشمی ساخته شود نیم درجه از آسمان (در حدود اندازهٔ قطر زاویه‌ای ماه) دیده می‌شود. به شکل ض ۵ نگاه کنید.

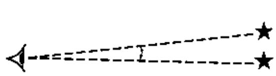
شکل ض ۵ میدان دید ظاهری، زاویه‌ای است که تصویر نهایی در چشم می‌سازد. میدان دید واقعی زاویه‌ای‌است که شیئی در چشم می‌سازد.



.۳ توان تفکیک تلسکوپ

$$\text{توان تفکیک} = \frac{۱۲٫۵}{\text{قطر شیئی}}$$

شکل ض۶ توان تفکیک کوچک‌ترین زاویه‌ای‌است که دو شیئی دوردست با هم می‌سازند وهنوز به صورت دو واحد مجزا دیده می‌شوند.



تلسکوپی با شیئی ۸ سانتیمتری دارای توان تفکیکی برابر:

$$\frac{۱۲٫۵}{۸} \simeq ۱٫۵ \text{ ثانیهٔ قوس}$$

است، یعنی دو ستاره را که به فاصلهٔ زاویه‌ای ۱٫۵ ثانیهٔ قوس از یکدیگر قرار دارند می‌توان به صورت دو نقطهٔ نورانی متمایز دید.

.۴ قطر مردمک خروجی

مردمک خروجی، بنا به تعریف قطر تابهٔ استوانه‌ای نوری است که از چشمی خارج می‌شود.

این قطر هرگز نباید از قطر مردمک چشم آدمی (۰٫۴۲ سانتیمتر) بزرگ‌تر یا فرضاً از ۰٫۴ سانتیمتر کوچک‌تر باشد. مقدار مردمک خروجی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

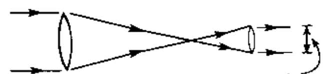
$$\text{مردمک خروجی} = \frac{\text{قطر شیئی}}{\text{بزرگ‌نمایی}}$$

برای عدسی‌ای به قطر ۸ سانتیمتر و بزرگ‌نمایی ۸۰ مرتبه، مردمک خروجی برابر است با:

$$\frac{۸}{۸۰} = ۰٫۱ \text{ سانتیمتر}$$

این مقدار کاملاً در داخل حدودی که برای قطر مردمک تجویز شد، قرار دارد. به شکل ض ۷ نگاه کنید.

شکل ض ۷ مردمک خروجی قطر استوانهٔ نوری است که از چشمی خارج می‌شود.



۵. شعاع تصویر ایجاد شده به وسیلهٔ شیئی.

اندازهٔ تصویر اول یعنی تصویری که شیئی به تنهایی تشکیل می‌دهد به (آ) میدان دید واقعی و (ب) فاصلهٔ کانونی شیئی بستگی دارد. فرمول آن عبارت است از:

$$\text{شعاع تصویر} = \frac{\text{فاصلهٔ کانونی شیئی} \times \text{میدان دید واقعی}}{۵۷٫۳}$$

عدد ۵۷٫۳ در مخرج ضریب تبدیل زاویه از درجه به رادیان است. برای یک عدسی شیئی با فاصلهٔ کانونی ۱۰۰ سانتیمتر و میدان دید $\frac{۱}{۲}$ درجهٔ قوس، شعاع تصویر اول عبارت است از:

$$\frac{۰٫۵ \times ۱۰۰}{۵۷٫۳} = \frac{۵۰}{۵۷٫۳} = ۰٫۸۸\,\text{cm}$$

ج. سوار کردن چشمی

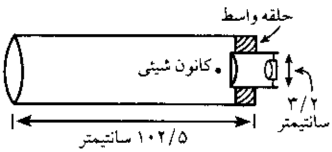
قطر بیرونی لولهٔ چشمی (که به مقدار ۳٫۲ سانتیمتر یا ۱٫۲۵ اینچ استاندارد شده است) معمولاً کوچک‌تر از قطر داخلی لولهٔ دوربین است و باید بین لولهٔ چشمی و لولهٔ دوربین حلقهٔ واسطی (آداپتور) به کار رود. این حلقهٔ واسط را که به شکل استوانه‌ای مجوف است، می‌توان از چوب یا هر مادهٔ مناسب دیگری ساخت. شعاع بیرونی استوانهٔ توخالی باید قالب قطر داخلی لولهٔ شیئی (مثلاً به قطر ۸سانتیمتر) باشد و شعاع داخلی آن باید لولهٔ ۳٫۲ سانتیمتری چشمی را در خود جای دهد. طول حلقهٔ واسط نباید خیلی زیاد باشد تا مانع نوری که از شیئی به چشمی می‌آید نشود.

نکتهٔ مهمی که از آن باید اطمینان یافت این است که وقتی چشمی تا ته در محل خود جای می‌گیرد، عدسی میدان (عدسی‌ای در چشمی که به شیئی نزدیک‌تر است) نزدیک به کانون شیئی باشد، و نیز باید بتوان لولهٔ شیئی را بیش از یک سانتیمتر بیرون کشید بی آن که از لولهٔ دوربین جدا شود. کانون چشمی باید اندکی جلوتر از عدسی میدان باشد.

چ. طرح دستگاه

برای یک شیئی ۸ سانتیمتری و یک چشمی کل‌نر ۵ر۱۲ میلیمتری، ساده‌ترین آرایش در شکل ض ۸ نشان داده شده است.

شکل ض ۸ طرح تلسکوپ. کانون چشمی درست جلوی عدسی میدان قرار دارد و ۵ر۱۲ میلیمتر از وسط چشمی اندازه گرفته می‌شود.



ح. دریچهٔ تصویر و دریچهٔ نورهای اضافی

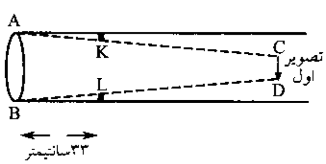
در صفحهٔ کانونی شیئی دریچهٔ تصویری کار گذاشته می‌شود تا تابش‌های ضعیف کناری حذف شود و تصویر واضح مشخصی به دست آید. این دریچه عبارت است از قرص گرد سیاه شده‌ای از مقوا یا هر مادهٔ مناسب دیگر که در وسط آن سوراخی بریده شده است که شعاع آن برابر با شعاع تصویری است که شیئی تشکیل می‌دهد. در مورد عدسی ۸ سانتیمتری این شعاع محاسبه شده (به بخش ث. محاسبات نگاه کنید) و برابر ۸۸ر ۰ سانتیمتر است.

دو یا سه دریچه نیز برای نورهای اضافی در لولهٔ شیئی کار گذاشته می‌شود تا اشعهٔ مزاحمی را که از خارج میدان دید وارد تلسکوپ می‌شود حذف کند. این دریچه‌ها نیز قرص‌های گردی هستند با سوراخی در وسط و معمولاً از همان جنس دریچهٔ تصویر.

جای این دریچه‌ها چنان اختیار می‌شود که فاصلهٔ میان شیئی و تصویر اول را به قسمت‌های برابر تقسیم کنند. اندازهٔ سوراخ‌ها از روی شکلی تعیین می‌شود که در آن شیئی، تصویر اول و دو خط (نظیر AC، BD) که انتهاهای آن دو را به هم وصل می‌کند (به مقیاس) رسم شده است.

قطر دریچهٔ نمونه‌ای که در فاصلهٔ ۳۳ سانتیمتری شیئی قرار می‌گیرد، KL است. این دریچه به مخروط کامل نوری که از شیئی به سمت تصویر می‌آید اجازهٔ عبور می‌دهد ولی اشعهٔ مزاحم را حذف می‌کند. به شکل ض ۹ نگاه کنید.

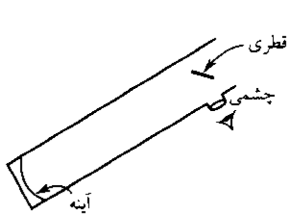
شکل ض ۹ قطر دریچه. قطر یک دریچه در فاصلهٔ ۳۳ سانتیمتری، برابر KL است، K و L نقاطی واقع بر خط‌های AC و BD اند که مخروط کامل نوری را که از شیئی به سمت تصویر می‌آید دربر می‌گیرند.



تلسکوپ بازتابی دست‌ساخت

دوربین بازتابی نجومی متشکل است از: یک آینهٔ کاو آلومینیوم اندوده که معمولاً به شکل کروی یا سهمی‌وار است و بر انتهای لوله سوار می‌شود، یک آینهٔ تخت (که آن را مسطح یا قطری هم می‌نامند) و یک چشمی. به شکل ض ۱۰ نگاه کنید.

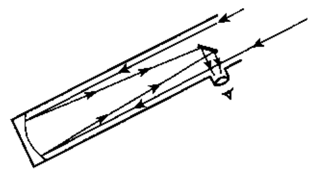
شکل ض ۱۰ یک تلسکوپ بازتابی تشکیل شده است از یک آینه، یک قطری (آینهٔ تخت) یا یک منشور و یک چشمی.



نور جسم مورد بررسی از لوله می‌گذرد و بر آینه می‌تابد. آینه آن را منعکس می‌کند تا تصویر اول را تشکیل دهد (پس کار آینه در تلسکوپ بازتابی شبیه کار عدسی شیئی در تلسکوپ شکستی است). آینهٔ تخت کوچک،

درست پیش از رسیدن نور به صفحهٔ کانونی راه را بر آن می‌بندد و آن را به زاویهٔ قائمه به سمت بدنهٔ قسمت فوقانی لوله منحرف می‌کند. تصویر اولی که این شعاع‌ها تشکیل می‌دهند به وسیلهٔ چشمی، که در قسمت فوقانی لوله کار گذاشته شده، مشاهده می‌شود. به شکل ض ۱۱ نگاه کنید.

شکل ض ۱۱ مسیر نور در یک تلسکوپ بازتابی. پرتو نور وارد لوله شده بر آینهٔ کاو می‌تابد، (کار آینه بر پرتو منعکس شده پیش از تشکیل تصویر عقیم می‌ماند) توسط آینهٔ تخت به سمت بدنهٔ لوله منحرف می‌شود. تصویر در آنجا تشکیل و توسط چشمی بزرگ می‌شود.



در این کتاب قبلاً دربارهٔ چشمی‌ها توضیحاتی داده شد (به فصل ۵ رجوع کنید). چشمی‌ها برای تلسکوپ‌های بازتابی و شکستی یکسان اند.

فرض بر آن است که چشمی و قطری، ساخته شده تهیه می‌شود.

توضیح زیر بیشتر به تراشیدن، صیقل زدن و آزمودن آینه مربوط می‌شود.

تراشیدن آینه:

امروزه آینه‌های ساخته شده و آماده به اندازه‌ها و کیفیت‌های مختلف را می‌توان در بازار خرید. اما این کار هرگز آن رضایتی را به آدمی نمی‌دهد که از آینهٔ ساخت خودش به‌دست می‌آورد.

شروع کار بسیار ساده است: دو قرص شیشه‌ای یکی برای آینه و یکی به عنوان «ابزار»، مقادیری از چند نوع ماده سایا که در شیشه تراشی به کار می‌رود. نتیجه نهایی ممکن است آینه‌ای باشد که از لحاظ دقت و کمال از بهترین آینه‌ای که در بازار می‌توان خرید، بهتر باشد.

قرص آینه معمولاً از جنس شیشهٔ پیرکس است. ضخامت آن تقریباً یک ششم قطر آن است. لبهٔ قرص معمولاً مورب است به طوری که قطر یک طرف آن اندکی بیشتر از طرف دیگر است (سطح بزرگ‌تر را باید تا انحنای مناسب تراشید).

به عنوان مثال فرض کنید که قطر سطح بزرگ‌ترِ قرص آینه ۱۵ سانتیمتر باشد (این اندازه امروزه از همه متداول‌تر است و در سال‌های اخیر هزاران آینه به این اندازه ساخته شده است). همچنین فرض کنید که فاصلهٔ کانونی آینهٔ مورد نظر ۱۲۵ سانتیمتر باشد.

معمولاً نخستین سایایی که برای تراشیدن به کار می‌رود کربوراندم شماره ۸۰ است. کربوراندم که سایای سنتتیکی متشکل از کربور سیلیسیوم است، به میزان قابل ملاحظه‌ای سخت‌تر از خاک سنباده و به مراتب کارآتر از آن است. شمارهٔ ۸۰ به معنی آن است که این پودر، درست از الکی با ۸۰ رشته در هر اینچ می‌گذرد. سایای بعدی معمولاً کربوراندم شماره ۲۲۰ است. به دنبال آن از سه یا چهار سایای ریزدانه‌تر یکی بعد از دیگری استفاده می‌شود تا کار تراشیدن خاتمه پیدا کند.

وضعیت کار به یک ساندویچ شباهت دارد. قرص شیشه‌ای در زیر، آب و پودر کربوراندم در وسط و قرص پیرکس در بالا. به شکل ض ۱۲ نگاه کنید.

مراحل کار عبارت اند از:

آ. «ابزار» را به کمک پایه‌ای چوبین به میز کار که معمولاً بشکه‌ای است، محکم می‌بندیم. شیشه را گرم می‌کنیم. یک روی آن را با تربانتین می‌پوشانیم. قیر مذاب روی پایهٔ چوبی می‌ریزیم و سپس سطحِ تر قرص شیشه‌ای را بر چوبِ پوشیده از قیر، سخت می‌فشاریم. به شکل ض ۱۳ نگاه کنید.

ب. دستگیره‌ای به قرص پیرکس متصل می‌کنیم. برای این کار، پشت قرص پیرکس را گرم می‌کنیم، در وسط آن که با تربانتین، تر شده است، قیر گرم می‌ریزیم و سپس دسته را سخت در آن می‌فشاریم. به شکل ض ۱۴ نگاه کنید.

پ. مادهٔ سایا را می‌افزاییم. کربوراندم شمارهٔ ۸۰ را روی ابزار می‌پاشیم. سطح آینه را در آب خیس می‌کنیم و کار تراش آغاز می‌شود.

ت. ضمن تراش باید سه کار به طور هم زمان انجام شود. (۱) حرکت قرص پیرکس روی ابزار به جلو و به عقب (مرکز به مرکز)، (۲) دوران قرص پیرکس حول محورش، (۳) حرکت آرام کارگر به دور بشکه به طوری که تمام پیرامون ابزار ساکن را بپیماید.

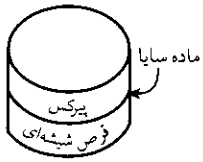
از این سه حرکت، اولی از همه مهم‌تر است. طول حرکت، شکل آینه را مشخص می‌کند. برای ایجاد شکلی کروی (معمولاً نخست شکل کروی کاملی ایجاد می‌شود. تصحیح سهموی بعداً انجام می‌گیرد) طول حرکت باید در حدود یک سوم قطر قرص باشد. یعنی مرکز قرص فوقانی نسبت به مرکز قرص ساکن، باید به اندازه یک ششم قطر به یک سو و یک ششم قطر به سوی مخالف حرکت کند. برای ایجاد شکل سهموی باید طول حرکات به نصف قطر یا بیشتر افزایش یابد.

باید توجه داشت که در حالی که قرص بالایی کاو می‌شود، قرص تحتانی (ابزار) کوژ می‌گردد. این جریان تا اندازه‌ای معلول افزایش فشار بین قرص‌ها است وقتی که فقط بخشی از آن‌ها در تماس با یکدیگرند. به شکل ض ۱۵ نگاه کنید.

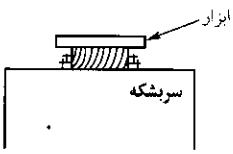
توجه کنید که در این وضعیت آخری مقدار فشار بین قرص‌ها بیش از وضعیت عادی ساندویچی است. هم‌چنین توجه کنید که هر دو سطح شکل کروی پیدا می‌کنند سطوح کروی در حین حرکت در هر امتداد، نقطه به نقطه برهم منطبق اند.

ث. وقتی که پودر سایا دیگر نمی‌تراشد، آینه را برمی‌داریم و مجدداً

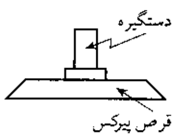
شکل ض ۱۲ وضعیت کار. استوانه شیشه‌ای تخت در زیر قرار می‌گیرد و قرص پیرکس که باید تراشیده شود در بالا. مادهٔ سایا بین این دو جای دارد.



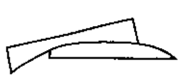
شکل ض ۱۳ ابزار به پایهٔ چوبی چسبانده می‌شود (به کمک قیر). پایهٔ چوبی را به بالای بشکه با پیچ و مهره می‌بندیم.



شکل ض ۱۴ به کمک قیر دستگیره‌ای به قرص پیرکس متصل می‌شود.



شکل ض ۱۵ قرص پیرکس با کوژ شدن ابزار، کاو می‌شود.



کربوراندم می‌ریزیم.

این تراشیدن که به تراش درشت موسوم است تا موقعی ادامه می‌یابد که شعاع آینه در حدود ۲۵ سانتیمتر بیشتر از شعاع مطلوب شود. در مثال مورد نظر، هدف شعاعی ۲٫۵ متری است (یا فاصلهٔ کانونی ۱۲۵ سانتیمتری؛ شعاع آینه دو برابر فاصلهٔ کانونی آن است). تراش درشت تا زمانی ادامه خواهد یافت که شعاع آینه به حدود ۲۷۵ سانتیمتر برسد؛ بقیه در مرحلهٔ بعدی تراشیده خواهد شد.

روش سریع تعیین شعاع آینه به این ترتیب است:

۱- آینه را در وضعیت عمودی قرار دهید.

۲- چشم را هم سطح با مرکز قرار دهید.

۳- در یک دست شمعی بگیرید و آن را قائم بر محور آینه جلو عقب برید و به امتداد حرکت بازتاب شمع در آینه توجه کنید.

اگر بازتاب هم جهت با شمع تغییر کند، چشم به آینه نزدیک‌تر ازمرکز انحنای آن است. اگر بازتاب در خلاف جهت شمع حرکت کند، چشم نسبت به آینه از مرکز انحنای آن دورتر است.

با نزدیک و دور کردن چشم نسبت به آینه می‌توان مرکز انحنای آینه را با دقت چند سانتیمتر به دست آورد.

ج. با تراش نرم، شعاع به یک سانتیمتری یا نیم سانتیمتری شعاع نهایی رسانده می‌شود. جریان صیقل زدن معمولاً بین نیم تا یک سانتیمتر از شعاع انحنا می‌کاهد.

در نخستین مرحلهٔ تراش نرم از کربوراندم شمارهٔ ۲۲۰ استفاده می‌شود. شستن و آب کشیدن قرص‌ها باید چنان باشد که هیچ اثری از کربوراندم شمارهٔ ۸۰ که در جریان تراش درشت به کار می‌رفت، به جا نماند.

معمولاً هفت یا هشت بار استعمال کربوراندم ۲۲۰ برای این مرحله کافی است. هر بار (که یک «آب زدن» نامیده می‌شود، زیرا کربوراندم با آب به کار می‌رود) در حدود ۵ دقیقه طول می‌کشد که بعد از آن دیگر کربوراندم نمی‌تراشد. تمام مرحلهٔ تراش نرم در حدود ۴۰ دقیقه طول می‌کشد.

چ. پس از تراش نرم، سه یا چهار پودر سایای ظریف‌تر (مثلاً سایاهای شمارهٔ ۳۲۰، ۴۰۰ و ۶۰۰) به کار می‌رود، که در این موارد نیز باید دقت کرد که پیش از استعمال هر سایای ظریف‌تر، اثری از سایای قبلی به جا نمانده باشد. در این موارد نیز معمولاً شش بار «آب زدن» برای هر مرحله کفایت می‌کند.

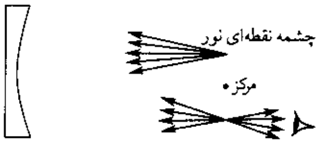
ح. کار بعدی آزمون شکل کروی آینه است.

برای حصول اطمینان از این که شکل آینه کاملاً کروی است، چندین آزمون وجود دارد. معروف‌ترین طریقه از فوکوی فرانسوی است (که آزمایش آونگ فوکوی او مشهور است).

وسایل لازم برای این آزمون عبارت اند از یک چشمهٔ نقطه‌ای نور (سوراخ کوچکی در یک لولهٔ بخاری که چراغ برقی در داخل آن قرار داده شده کفایت می‌کند)، و یک تیغهٔ چاقو.

چشمهٔ نقطه‌ای نور به فاصلهٔ چندین سانتیمتر از مرکز، در یک سمت آن قرار داده می‌شود. چشم به فاصلهٔ مساوی در سمت مقابل جای می‌گیرد. به شکل ض ۱۶ نگاه کنید.

شکل ض۱٦ آزمون فوکو. نوری که از چشمهٔ نقطه‌ای می‌آید، از آینه به سوی چشم‌منعکس می‌شود (تنها ابتدا و انتهای مسیر نور نشان داده شده است).



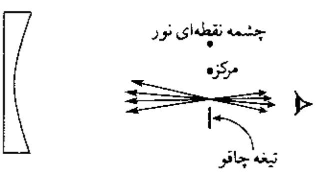
اگر انحنای آینه کروی باشد،

۱- نوری که از آینه منعکس شده در یک نقطه تلاقی می‌کند.

۲- چون تیغهٔ چاقو آن نقطه را «ببرد» (آ) سراسر آینه به طور یکنواخت تاریک می‌شود و (ب) آینه تخت به نظر می‌رسد.

۳- حرکت مختصر تیغهٔ چاقو حول آن نقطه موجب سایهٔ متحرکی در آینه نخواهد شد. به شکل ض ۱۷ نگاه کنید.

شکل ض ۱۷ آزمون شکل کروی. اگر شکل آینه کاملاً کروی باشد همهٔ شعاع‌های منعکس شده در یک نقطه تلاقی می‌کنند. چون تیغهٔ چاقویی در این نقطه قرار گیرد، مانع رسیدن این شعاع‌ها به چشم می‌شود. آینه در این نور ستاره مانند، به طور یکنواخت تیره به نظر می‌رسد.(تنها انتهای مسیرهای نور نشان داده شده است).



اگر آینه کروی نباشد هیچ یک از این مشخصات وجود نخواهد داشت، مثلاً اندک حرکتی در تیغهٔ چاقو قائم بر محور آینه سبب خواهد شد که سایهٔ آن در سطح آینه حرکت کند.

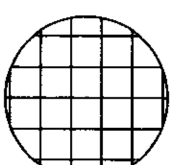
ح. صیقل زدن آینه را می‌توان با زنگار آهن (Fe_2O_3) نرم یا با اکسید سریوم (CeO_2) و یا با بارنزیت (مخلوطی از چند اکسید از خاک‌های نادر) انجام داد. اکسید سریوم دوتا سه برابر کارآتر از زنگار آهن است. از این سه احتمالاً بارنزیت صیقل بهتری می‌دهد.

ترتیب کار صیقل زدن چنین است:

۱- ابزار را با لایه‌ای از قیر بپوشانید.

۲- شیارهایی با مقطع V روی آن حفر کنید. این شیارها به مثابهٔ مخازنی است که مخلوط مایع آب و مادهٔ صیقل دهنده در آن‌ها جای می‌گیرد. به شکل ص ۱۸ نگاه کنید.

شکل ض ۱۸ روش صیقل زدن. ابزار با لایه‌ای از قیر که در آن شیارهایی حفر شده است پوشانده می‌شود.



صیقل زدن عبارت است از حرکت آینه روی ابزار پوشیده از قیر با حرکت مرکز به مرکز به طول $\frac{1}{3}$ قطر. این کار باید تا آنجا ادامه یابد که همهٔ خراش‌های ریز روی آینه (که آن‌ها را می‌توان با ذره‌بین دید) از بین برود. در صیقل زدن نیز همان حرکات دورانی تراشیدن انجام می‌شود (دوران آینه و حرکت دور ابزار).

د. تغییر شکل سطح کروی به سهمی‌وار را «شکل دادن» گویند. یادآور می‌شود که شکل سهمی‌وار برتر از شکل کروی است زیرا که همهٔ اشعهٔ موازیِ محور را که وارد تلسکوپ می‌شود در یک نقطه (کانون) گرد می‌آورد.

یکی از راه‌های شکل دادن به آینهٔ کروی به «سهمی کردن به کمک سطوح تدریجی» موسوم است. در این روش، شیارها را، از مرکز به سمت لبه، به تدریج عریض‌تر حفر می‌کنند و در نتیجه از سطح مربع‌های کوچک و در نتیجه از آهنگ تراش صیقل می‌کاهند. به این ترتیب مرکز آینه سریع‌تر از کناره‌ها کاو می‌شود و مقطع، انحنایی را کسب می‌کند که خاص سهمی است. به شکل ض ۱۹ نگاه کنید.

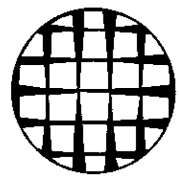
مقطع کامل زمانی به دست می‌آید که شعاع نواحی کناره‌ای، نظیر AB به میزان $\frac{r^{۲}}{R}$ از شعاع روی محور، یعنی CD، بیشتر باشد، که در آن r شعاع (قرص) آینه و R شعاع انحناء متوسط آن است. به شکل ض ۲۰ نگاه کنید.

در مثال مورد نظر، شعاع آینه ۵ر۷ سانتیمتر و شعاع انحنا تقریباً ۵ر۲ متر (دو برابر فاصلهٔ کانونی ۱۲۵ سانتیمتر) است. از این رو AB باید به اندازهٔ سانتیمتر ۲۲ر۰ = $\frac{(۵ر۷)^{۲}}{۲۵۰}$ بلندتر از CD باشد.

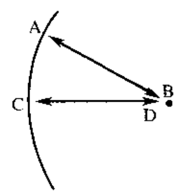
ذ. از وسایلی که در آزمون فوکو برای آزمایش شکل کروی به کار می‌رود می‌توان برای آزمون شکل سهمی‌وار آینه استفاده کرد. اساس این آزمون اندازه‌گیری دو شعاع AB و CD است. صیقل زدن تاموقعی ادامه پیدا می‌کند که تفاضل طول AB و CD مساوی $\frac{r^{۲}}{R}$ شود. وقتی AB اندازه گرفته می‌شود، بخش مرکزی آینه با ماده‌ای پوشانده می‌شود که منعکس کننده نیست و نور فقط از نواحی کناره‌ای به سوی چشم منعکس می‌گردد. برای اندازه‌گیری CD نواحی کناره‌ای غیرمنعکس کننده می‌شود.

ر. آلومینیوم اندود کردن آینه باید در خلاء صورت گیرد و بهتر آن است که این کار در کارگاه‌های مخصوص انجام شود.

شکل ض ۱۹ شکل ابزار صیقل هنگامی که برای شکل دادن به کار می‌رود. مربع‌های کناری کوچک‌تر اند بنابراین در آنجا سایش کمتری صورت می‌پذیرد. بخش مرکزی آینه انحنای بیشتری پیدا می‌کند تا نواحی کناری و این ویژه سهمیوار است.



شکل ض ۲۰ سهمی در مرکز خمیده‌تر است تا در لبه‌ها. از این رو شعاع CD کوچک‌تر از شعاع AB است.



فرهنگ اصطلاحات

آپولو

نام برنامه‌ای از تحقیقات فضایی ایالات متحده امریکا که هدف آن فرود آوردن انسان بر سطح ماه بود. سفینه‌هایی که مورد استفاده قرار گرفت به همین نام موسوم بود. آپولو ۱۱ نیل آرمسترانگ و ادوین آلدرین را در ۲۰ ژوئیه ۱۹۶۹ بر سطح ماه فرود آورد.

آنگستروم

واحد طول برابر با $۱۰^{-۱۰}$ متر. این واحد برای اندازه‌گیری طول موج و فواصل بین مولکولی به کار می‌رود.

ابر اورت

ابری متشکل از هسته‌های ستاره‌های دنباله‌دار بی‌شمار که منظومهٔ شمسی تا فاصلهٔ یک سال نوری احاطه کرده است. هرگز به طور مستقیم مشاهده نشده است ولی قرائن مختلفی دال بر وجود آن است. منشأ ستاره‌های دنباله‌دار از ابراورت است.

ابرنواختر

ستاره‌ای که روشنی‌اش به‌ناگاه تا یک میلیون مرتبه افزایش پیدا می‌کند. شبیه به نواختر است ولی افزایش روشنی آن بسی بیشتر است و هرگز کاملاً به روشنی اولیه‌اش بازنمی‌گردد.

ابرهای ماژلان

این‌ها ابر نیستند، بلکه کهکشان‌اند. دو کهکشان نسبتاً نزدیک که در نیمکرهٔ جنوبی دیده می‌شوند؛ شکل آنها نامنتظم است و نام آنها از ماژلان سیاح پرتقالی که برای

نخستین بار شرحی در بارهٔ آنها نوشت گرفته شده است.

اثر دوپلر

تغییر فرکانس نور در اثر حرکت نسبی ناظر و چشمهٔ نور.

اثر زیمان

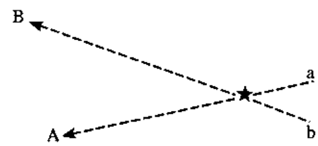
تغییر طول موج نور گسیل شده از یک چشمهٔ نور وقتی که آن چشمه در یک میدان مغناطیسی قرار داشته باشد.

اخترنما (یا کوازار)

نام متداول اجرام شبه‌ستاره‌ای. اخترنماها اجرام فوق‌العاده درخشانی (درخشان‌ترین اجرام شناخته شده) هستند به فواصل بسیار زیاد (دورترین اجرام شناخته شده) که مقدار عظیمی انرژی تولید می‌کنند. سرشت واقعی اخترنماها هنوز تحت بررسی و مطالعه است.

اختفا

پنهان شدن یک ستاره یا یک سیاره در پشت ماه. اصطلاح «اختفا» به هر موردی نیز اطلاق می‌شود که جرم نجومی بزرگی میان جرم کوچک و ناظر حایل شود.



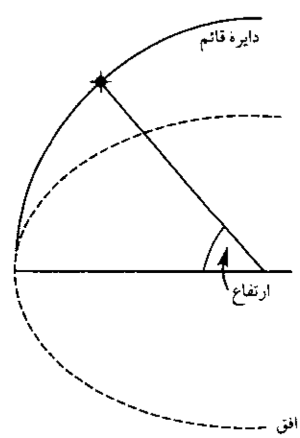
اختلاف منظر

اختلاف منظر

جابجا شدن ظاهری یک شئ نسبت به زمینه‌اش که معلول جابجا شدن ناظر باشد. ناظر A ستاره را در ناحیهٔ a از آسمان می‌بیند. ناظر B همان ستاره را در ناحیهٔ b می‌بیند.

اختلاف منظر خورشیدمرکزی

حرکت ظاهری ستاره‌های نزدیک نسبت به زمینهٔ ستاره‌های دوردست. این حرکت ظاهری در واقع معلول حرکت انتقالی زمین به دور خورشید است.



ارتفاع

ارتفاع

فاصلهٔ زاویه‌ای یک جسم از افق در امتداد یک دایره قائم.

افق رویداد

مرز یک سیاه‌چاله.در یک سیاه چالهٔ غیر دوار، افق رویداد (سطحی) کروی است که شعاع آن برابر با شعاع شوارتزشیلد سیاه‌چاله است. این سطح حدی را مشخص می‌کند که در آن سرعت گریز یک جرم رمبنده برابر با سرعت نور می‌شود و در نتیجه هیچ اطلاعاتی از آن نمی‌تواند به بیرون برسد.

انتقال به سرخ

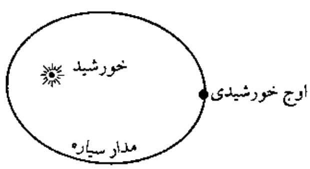
انتقال همهٔ خطوط طیفی به جانب طول موج‌های بلند، که در همهٔ کهکشان‌ها مشاهده شده است. انتقال به مکان سرخ کهکشانی معلول انبساط جهان است. انتقال به مکان سرخ گرانشی معلول جرم زیاد جسم گسیل کننده است.

انقباض هلم‌هولتسی

نظریه‌ای که بنابر آن منشأ انرژی نورانی‌ای که از ستاره‌ای گسیل مـی‌شود، انـرژی پتانسیل گرانشی (یعنی انقباض) ستاره است.

اوج خورشیدی

دورترین نقطهٔ مدار یک سیاره از خورشید.



اوج خورشیدی

اوج زمینی

دورترین نقطهٔ مدار ماه از زمین.

باد خورشیدی

موادی که بیشتر پروتون و الکترون اند و از خورشید به فضا جریان دارند. خورشید به‌طور عادی در هر ثانیه میلیون‌ها تن از جرم خود را به علت باد خـورشیدی از دست می‌دهد.

برون‌کهکشانی (یا فراکهکشانی)

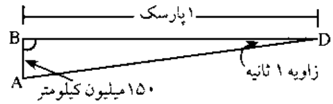
بیرون از کهکشان ما.

بُعد

فاصلهٔ زاویه‌ای یک جرم سماوی از دایرهٔ ساعتی مبدأ که در طول معدل‌النـهار از 0° تا 360° (یا از ۰ ساعت تا ۲۴ ساعت) از مشرق بـه مـغرب انـدازه‌گیری

می‌شود. بعد نظیر طول جغرافیایی است.

پارسک



پارسک

واحدی برای فواصل ستارگان و برابر است با فاصله BD در مثلث ABD. یک پارسک برابر با ۳۰/۱ میلیون میلیون کیلومتر است.

پایونیر

نامی که بر نخستین دسته از سفینه‌های بی‌سرنشین فضاپیمای آمریکا نهادند. این سفینه‌ها از نظر فن پرتاب و هدایت سفینه‌های مارینر، لونار آربیتر، رینجر و سرویور، حایز اهمیت بسیار بودند.

پراش نور

پدیده‌ای که نور در عبور از شکافی باریک یا سوراخی خرد از خود بروز می‌دهد و در نتیجهٔ آن نوارهای تاریک و روشن متناوب به وجود می‌آید.

پرتو X

تابش الکترومغناطیسی پر انرژی‌ای که طول موجش کوتاه‌تر تابش فرابنفش ولی بلندتر از تابش گاما است.

پروتون

ذره‌ای هسته‌ای دارای بار الکتریکی مثبت. هستهٔ اتم ئیدروژن یک پروتون منفرد است.

پلاسما

گاز یونیده.

پوزیترون

یک ذرهٔ زیر اتمی شبیه الکترون که بار آن مثبت است.

پیش‌ستاره

قسمتی از یک سحابی که قریباً به یک ستاره تبدیل خواهد شد.

تابش - X

نگاه کنید به پرتو X

تابش فرابنفش

تابش الکترومغناطیسی که طول موج آن کوتاه‌تر از نور مرئی بنفش است.

تابش فروسرخ

اشعه‌ای نامرئی که طول موج آن اندکی بلندتر از نور سرخ است.

تپ‌اختر

ستاره‌ای نوترونی که علامت‌های رادیویی گسیل می‌کند. نخستین تپ‌اختر در سال ۱۹۶۷کشف شد. پالس (تپهٔ) این تپ‌اختر $\frac{1}{3}$ ثانیه طول می‌کشد و با دقت زیاد هر $1\frac{1}{3}$ ثانیه تکرار می‌شود.

تداخل‌سنجی پیسه‌ای

تکنیکی برای بهبود توان تفکیک تصویرهای نجومی، از طریق حذف آثار تلاطم جو زمین.

تربیع

وقتی که دوری ماه یا سیاره‌ای از خورشید (بر کرهٔ سماوی) به اندازهٔ 90° است.

تلسکوپ

در نجوم اسبابی که برای جمع‌آوری اشعه از اجرام سماوی به کار می‌رود.

تلسکوپ رادیویی

اسبابی که برای بررسی اجرام سماوی از طریق امواج رادیویی گسیل شده از آنها، به کار می‌رود.

توان تفکیک تلکسوپ

توان جدا کردن دو نقطهٔ نزدیک به هم به دو نقطهٔ متمایز از یکدیگر.

ثابت خورشیدی

آن مقدار از گرمای تشعشعی خورشید که توسط یک سانتیمترمربع از سطح زمین دریافت می‌شود. مقدار آن ۱/۹۴ کالری بر سانتیمترمربع در هر دقیقه است.

ثابت هابل

نسبت سرعت دور شدن یک کهکشان به فاصلهٔ آن. این نسبت در حدود ۱۰۰ کیلومتر بر ثانیه در هر یک میلیون پارسک است.

جمعیت ستاره‌ای

ستاره‌ها به دو جمعیت تقسیم می‌شوند: جمعیت I و جمعیت II. در ستاره‌های جمعیت I فراوانی عناصر سنگین زیاد است. گستره سنی این ستاره‌ها وسیع است. ستاره‌های جمعیت I عمدتاً در قرص کهکشان‌ها و بازوهای مارپیچی دیده می‌شوند. ستاره‌های جمعیت II، ستاره‌هایی پیر اند که عناصر سنگین در آنها اندک است. آنها را در هاله‌ها و هسته‌های کهکشانی می توان یافت.

جمینی

نامی که به یکی از برنامه‌های فضایی آمریکا و نیز به سفینه‌های این برنامه داده شده است؛ هدف از این برنامه، آمادگی برای فرود بشر بر سطح ماه بود. جمینی ۳ تا جمینی ۱۲ (٦٦-١٩٦٥) هریک دو سرنشین داشتند. این برنامه شامل قدم زدن در فضا؛ ملاقات با سفینه‌های دیگر و نیز تکنیک‌های پهلوگیری می‌شد.

چشمه‌های مجزا

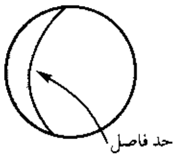
نواحی کوچکی (تقریباً نقطه‌ای) در آسمان که از آنها امواج الکترومغناطیسی بسیار شدیدی در فرکانس‌های رادیویی به زمین می‌رسد. این نقاط را سابقاً ستارگان رادیویی می‌نامیدند.

حد چاندراشیکار

بیشترین جرمی که یک ستاره می‌تواند داشته باشد تا سرانجام به صورت یک کوتوله سفید آرام و قرار گیرد. این جرم در حدود ۴ر۱ برابر جرم خورشید است. ستاره‌ای که جرمش از این حد تجاوز کند، بر اثر گرانش می‌رمبد و سرانجام آن یک ستارهٔ نوترونی یا یک سیاه چاله خواهد بود.

حد فاصل

مرز بین قسمت‌های روشن و تاریک ماه و یا یک سیاره.



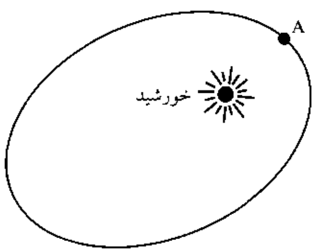
حد فاصل

حرکت تقدیمی

تغییرات بطئی محور زمین در نتیجهٔ کشش گرانشی ماه بر برآمدگی استوای زمین. این حرکت بطئی محور، موجب می‌شود که نقاط اعتدال در میان صورت‌های فلکی به سمت مغرب حرکت کنند.

حرکت خاص ستارگان

سرعت زاویه‌ای (بر حسب ثانیهٔ قوس در سال) یک ستاره در امتداد قائم بر خط دید ناظر زمینی.



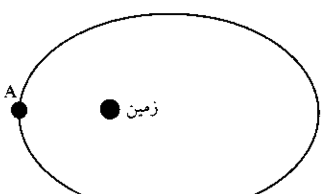
حضیض خورشیدی

حرکت رجعی

حرکت ظاهری یک سیاره به عقب (به طرف غرب) در زمینهٔ ستارگان.

حضیض خورشیدی

نزدیک‌ترین نقطهٔ مدار یک سیاره یا ستارهٔ دنباله‌دار به زمین (نقطهٔ A).



حضیض زمینی

حضیض زمینی

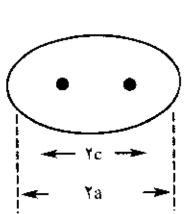
نزدیک‌ترین نقطهٔ مدار ماه (یا یک ماهوارهٔ زمینی) به زمین (نقطهٔ A).

خرده شهاب‌سنگ

ذرهٔ غبارریزی که در فضا شناور است و به قدری کوچک است که به چشم برهنهٔ مرئی نیست و در هنگام عبور از جو به سبب کوچکی ملتهب و فروزنده نمی‌شود.

خروج از مرکز

خروج از مرکز یک بیضی حاکی از میزان پخ بودن آن بیضی یا انحراف آن از دایره است. آن را با e نمایش می‌دهند. مقدار آن از فرمول $e = \frac{۲c}{۲a}$ به دست می‌آید که در آن ۲c فاصلهٔ بین کانون‌ها و ۲a طول قطر اطول بیضی است. اگر e کوچک (مثلاً ۰/۰۵) باشد شکل بیضی بسیار نزدیک به دایره است. وقتی e بزرگ (مثلاً ۰/۸) باشد، بیضی دراز و کشیده است.



خروج از مرکز

خورطیف‌نگار
اسبابی که از خورشید، در نور تکفام (یک رنگ) عکس می‌گیرد.

خوشهٔ باز
نگاه کنید به خوشه‌ستاره‌ای.

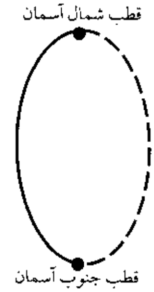
خوشهٔ ستاره‌ای
یک گروه ستاره که اعضای آن به قدر کافی به هم نزدیک و به طور فیزیکی با یکدیگر مرتبط اند و منشأ مشترکی دارند. خوشه‌های ستاره‌ای به دو دستهٔ خوشه‌های کروی و خوشه‌های باز تقسیم می‌شوند. در خوشه‌های کروی، توزیع ستاره‌های کروی و فشرده است و تعداد ستاره‌ها چند ده هزار یا بیشتر است. توزیع ستاره‌ها در خوشه‌های باز، پراکنده و نامتقارن است و تعداد ستاره‌ها از چند ده تا چندهزار است.

خوشهٔ کروی
نگاه کنید به خوشهٔستاره‌ای.

دانه‌ها
کوچک‌ترین واحدهای قابل رؤیت بر سطح خورشید. قطر دانه‌ها چند صدکیلومتر است. اندازه و ساخت آنها پیوسته تغییر می‌کند.

دایرهٔ اعتدال (یا دایرهٔ ساعتی مبدأ)
دایره‌ای ساعتی که از نقطهٔ اول حمل می‌گذرد. زوایای ساعتی (که نظیر طول‌های جغرافیایی بر سطح زمین اند) به مبدأ دایره اعتدال سنجیده می‌شوند.

دایرهٔ ساعتی
دایرهٔ ساعتی نظیر نصف‌النهار جغرافیایی است: دایرهٔ عظیمه‌ای که از دو قطب آسمان می‌گذرد.



دایره ساعتی

دایرةالبروج
دو تعریف معادل هم می‌توان برای دایرةالبروج به دست داد:
آ. دایرهٔ عظیمه‌ای بر کرهٔ آسمان که از تقاطع آن کره با صفحهٔ مدار زمین حاصل

می‌شود.
ب. مسیری که خورشید در حرکت ظاهری سالانهٔ خود به دور زمین بر کرهٔ آسمان می‌پیماید.

درخشندگی

نسبت کل نوری که یک جرم سماوی گسیل می‌کند به کل نوری که از خورشید گسیل می‌شود. همچنین کل انرژیی که یک ستاره در یک ثانیه گسیل می‌کند.

دریچهٔ رادیویی

شفاف بودن جو در برابر امواج رادیویی به طول موج بین ۰/۲۵ و ۳۰ سانتیمتر.

دریچهٔ نوری

ناحیه‌ای از طیف الکترومغناطیسی که اشعه مربوط به آن می‌تواند از جو زمین عبور کند و به سطح زمین برسد. گسترهٔ آن از ۳،۰۰۰ آنگستروم تا ۳۰،۰۰۰ آنگستروم است.

دوتایی

نگاه کنید به ستارهٔ دوتایی.

دوتایی طیف‌نمودی

منظومه‌ای متشکل از دو ستاره که ردیابی آنها فقط به کمک طیف‌نما میسر است.

دوتایی گرفتی

یک منظومهٔ دوتایی، که از دیدگاه زمین، مؤلفه‌های آن به تناوب و به طور منظم از برابر هم می‌گذرند و باعث گرفت یکدیگر؛ قدر ظاهری سیستم به هنگام گرفت، کاهش می‌یابد.

دورهٔ تناوب نجومی

مدت زمان لازم برای آن که سیاره‌ای یک دوران کامل (نسبت به ستارگان ثابت) به دور خورشید را به انجام رساند.

دورهٔ تناوب هلالی
فاصلهٔ زمانی بین دو مقارنهٔ متوالی ماه یا یک سیاره با خورشید از دیدگاه زمین.

دوری
فاصلهٔ زاویه‌ای یک سیاره از خورشید که بر حسب درجه، دقیقه و ثانیهٔ قوس سنجیده می‌شود.

رابطه جرم - درخشندگی
مطابق این رابطه، که به ستاره‌های رشتهٔ اصلی قابل اطلاق است، درخشندگی متناسب است با M^a که در آن M جرم ستاره است. توان a برای ستارگانی که جرم‌شان از نصف جرم خورشید کمتر است، برابر ۵ر۴ و برای ستارگانی که جرم آنها بیش از ۵ر۱ برابر جرم خورشید است معادل ۵ر۳ است.

راه کاهکشان
نواری نورانی بر آسمان که بخشی از کهکشان ماست. نور آن معلول این واقعیت است که اکثریت عظیم ستارگان کهکشان (قرص مانند) ما در امتداد این نوار، بر کرهٔ آسمان واقع اند.

رُخ‌گرد
«جنبیدن» ظاهری ماه (یا سیارهٔ عطارد) به راست و چپ، و بالا و پایین. بر اثر این نوسان‌ها قسمتی از سطح معمولاً پنهان ماه بر ناظر زمینی آشکار می‌شود.

رشتهٔ اصلی
نواری بر نمودار هرتسپرونگ - راسل. این نوار بیشتر از ۸۰درصد همهٔ ستارگان را شامل می‌شود. انرژیی که از این ستاره‌ها گسیل می‌شود ناشی از واکنش‌های گرما هسته‌ای در هستهٔ آنان است.

رینجر
نامی که بر نه سفینهٔ ماه‌آزمای امریکایی نهاد شده است، این سفینه‌ها برای ارسال عکس قبل از سقوط بر سطح ماه، طرح شده بودند. رینجرها بیش از ۱۷٬۰۰۰ عکس ارسال کردند که نزدیک‌ترین آنها بر سطح ماه، ۰/۲ ثانیه قبل از سقوط گرفته شده بود.

زاویهٔ ساعتی

زاویهٔ ساعتی نظیر طول جغرافیایی است: زاویهٔ بین نصف‌النهار سماوی مکان و دایرهٔ ساعتی یک جرم سماوی است که از نصف‌النهار به سمت مغرب اندازه گرفته می‌شود. آن را می‌توان بر حسب واحد زمان (ساعت، دقیقه و ثانیه) نیز بیان کرد. یک ساعت مساوی ۱۵ درجهٔ قوس است. زوایای ساعتی را به آسانی می‌توان یا به صورت قوس‌هایی بر معدل‌النهار و یا زوایایی در قطب‌های آسمان تجسم کرد.

زمان عام

زمان گرینیچ؛ زمان خورشیدی متوسط در نصف‌النهار °۰ که از گرینیچ انگلستان می‌گذرد. این زمان در سراسر زمین، زمان معیار است.

زمینهٔ تابش میکروموجی

تابش باقیمانده از آتشگوی آغازین مهبانگ سوزان. این تابش آشکارسازی شده است و معلوم شده است که بی‌اندازه همسانگرد است. اندازه‌گیری طیف آن به دقت تمام نشان داده است که این تابش شاخص جسم سیاهی است به دمای K° ۲/۷۳۵.

ساروس

فاصله زمانی (در حدود $\frac{1}{3}$ ۱۸ سال) بین دوکسوف یاخسوف متوالی از یک دنباله.

سال اعتدالی

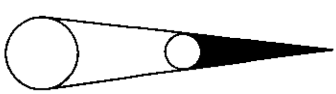
سال معمولی، سالی که در زندگی روزمره به کار می‌رود.

سال نوری

فاصله‌ای که نور در مدت یک سال می‌پیماید.

سایه

سایهٔ تیره‌ای که یک سیاره یا یک قمر می‌اندازد.



سایه

ستاره

گوی بزرگی از گاز بسیار سوزان که بر اثر نور خود می‌درخشد (مثلاً خورشید).

ستارهٔ بامدادی

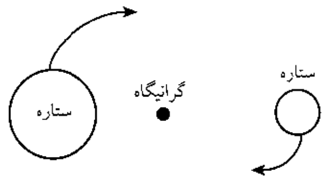
که ستاره نیست بلکه سیاره‌ای، مثلاً عطارد است که اندکی پیش از طلوع آفتاب در آسمان مشرق دیده می‌شود.(به آن ستارهٔ صبح یا ستارهٔ صباحی نیز می‌گویند).

ستارهٔ تپنده

ستاره‌ای که روشنی آن به‌طور متناوب تغییر می‌کند. علت آن، تغییرات تناوبی حجم ستاره است.

ستارهٔ دوتایی

دو ستارهٔ نزدیک به هم که بر اثر نیروی گرانش خود در مجاورت یکدیگر می‌مانند و چون دمبلی حول مرکز ثقل مشترکان حرکت می‌کنند. این مرکز ثقل به ستارهٔ پرجرم‌تر نزدیک‌تر است.



ستاره دوتایی

ستارهٔ رادیویی

نگاه کنید به چشمه‌های مجزا.

ستارهٔ شامگاهی

که در واقع ستاره نیست بلکه سیارهٔ عطارد یا زهره است وقتی که اندکی بعد از غروب آفتاب در آسمان مغرب دیده می‌شود.

ستارهٔ صبح یا ستارهٔ صباحی

نگاه کنید به ستارهٔ بامدادی.

ستارهٔ متغیر

ستاره‌ای که قدر آن با دوره‌ای نه چندان بلند، تغییر می‌کند.

ستارهٔ نوترونی

ستاره‌ای که عمدتاً از نوترون تشکیل شده است. این ستاره‌ها معمولاً بقایای انفجارهای ابر نواختری اند. تپ‌اخترها ستاره‌های نوترونی دوّار اند که پالس‌های رادیویی گسیل می‌کنند.

سحابی

ابر وسیعی از گاز یاگاز و غبار در فضا.

سحابی سیاره‌ای

سحابی‌ای که شکل ظاهری آن (در بزرگنمایی کم) به سیاره شباهت دارد

سحابی مارپیچی

کهکشانی از ستارگان (نه یک سحابی) که به شکل مارپیچ است.

سرعت شعاعی یک ستاره

سرعت یک ستاره (بر حسب کیلومتر بر ثانیه) در امتداد خط دید ناظر زمینی.

سرعت گریز

سرعتی که یک جسم باید داشته باشد تا بتواند از چنگ جاذبهٔ گرانشی جسم دیگر بگریزد. سرعت گریز در سطح زمین برابر ۲ر۱۱ کیلومتر بر ثانیه است. هر جسم زمینی که به این سرعت دست یابد می‌تواند برای همیشه زمین را ترک گوید.

سرویور

نام دسته‌ای از سفینه‌های بی‌سرنشین امریکا که بر ماه فرود آمدند تا اطلاعاتی کسب کنند که برای فرود انسان لازم است.

سمت‌الرأس

نقطه‌ای بر کرهٔ آسمان که مستقیماً بر بالای سر است.

سنگ‌های رسوبی

سنگ‌هایی که از ته‌نشین شدن مواد موجود در آب، یا هر محلول دیگر، به وجود آمده‌اند.

سیارک

جسم جامد کوچکی با شکل نامنتظم که بر گرد خورشید حرکت می‌کند. آن را سیارهٔ خرد نیز نامیده‌اند.

سیاره

یکی از نه جرمی که در مدارهای تقریباً مستدیر برگرد خورشید می‌گردد. سیارات به سبب بازتاب نور خورشید مرئی اند. منطقی است فرض شود که بسیاری از ستارگان، سیاراتی دارند که به دورشان می‌گردد.

سیاه‌چاله

ستاره‌ای رمبیده که گرانش سطحی آن بقدری شدید است که حتی نور هم نمی‌تواند از چنگ آن بگریزد.

شخانه

شهابواری که در جو می‌سوزد و از خود نور ساطع می‌کند. آن را تیرشهاب نیز گویند.

شعاع شوارتزشیلد

برای یک جرم سماوی، شعاع شوارتزشیلد یک شعاع بحرانی است. اگر این جرم بر اثر گرانش برمبد و شعاعش از این مقدار بحرانی کمتر شود، تبدیل به یک سیاه‌چاله می‌شود.

شفق قطبی

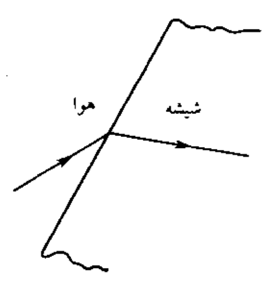
فروغ نورانی پراکنده‌ای که به پرده یا نوار می‌ماند و در عرض‌های زیاد جغرافیایی (N ° ۷۰ یا S ° ۷۰) دیده می‌شود. این فروغ نورانی معلول کنش متقابل باد خورشیدی با ذرت جو زمین است. شفق قطبی نیمکرهٔ شمالی را شفق قطبی شمالی یا نور شمالی و از آن نیمکرهٔ جنوبی را شفق قطبی جنوبی یا نور جنوبی نامند.[توجه کنید که این پدیده ربطی به شفق و فلق روزانه ندارد.]

شکاف کاسینی

فضایی تهی که حلقه‌های بیرونی زحل را از حلقه‌های پرنور داخلی جدا می‌سازد.

شکست نور (یا انکسار)

تغییر امتداد حرکت نور در ورود از محیطی به محیط دیگر (مثلاً از هوا به شیشه).



شکست نور (یا انکسار)

شهاب‌سنگ

شهابواری که به علت بزرگی اندازه‌اش از برخورد با جو زمین جان به در برده و به سطح زمین رسیده است. شهاب‌سنگ‌ها را می‌توان در نمایشگاه‌های موزه‌های علوم طبیعی مشاهده کرد.

شهابوار

جرم جامد کوچکی که معمولاً به اندازهٔ دانهٔ شن است و درگردش به دور خورشید با زمین مواجه می‌شود.

صورت فلکی

گروهی از ستارگان که ظاهراً در آسمان به یکدیگر نزدیک اند. نجوم جدید هشتاد و هشت صورت فلکی می‌شناسد (مانند ذات‌الکرسی، اسد و غیره). درواقع فاصلهٔ ستاره‌های یک صورت فلکی ممکن است از یکدیگر بسیار زیاد باشد و این ستاره‌ها در جهت‌های مختلف حرکت کنند.

طیف‌نگار

وسیله‌ای که: (آ) اشعهٔ نور را موازی هم می‌کند، (ب) نور را به طیف آن تجزیه می‌کند (به کمک منشور یا توری پراش) و سرانجام (پ) عکس از طیف حاصل می‌گیرد.

عبور

حرکت جرمی کوچک (مثلاً عطارد) از برابر جرم بزرگ‌تر (مثلاً خورشید).

عبور نصف‌النهاری

آن لحظه که جرمی سماوی از نصف‌النهار می‌گذرد. ستاره را در عبور نصف‌النهاری زبرین گویند، وقتی به بالاترین نقطه در آن روز رسیده باشد.

عدسی آکروماتیک

عدسیی که نور سفید را، بی آن که به طیف رنگ‌ها تجزیه‌اش کند، از خود عبور می‌دهد. این عدسی معمولاً از دو جزء تشکیل شده است که به یکدیگر چسبانده شده و یک واحد را به وجود آورده‌اند.

عقده (یا گره یا جوزهر)

نقطهٔ تلاقی یک مدار (مثلاً مدار ماه) با صفحهٔ مداری دیگر (مثلاً صفحهٔ مدار زمین).

غول سرخ

عضوی از رشتهٔ غول‌ها در نمودار هرتسپرونگ - راسل. قطر این ستاره‌ها بین پانزده تا سی برابر قطر خورشید و درخشندگی آنها یکصد برابر درخشندگی خورشید است.

فضا آزما (یا کاوهٔ فضایی)

سفینهٔ بی‌سرنشینی که برای کسب اطلاعات علمی به فضا فرستاده می‌شود.

قانون هابل

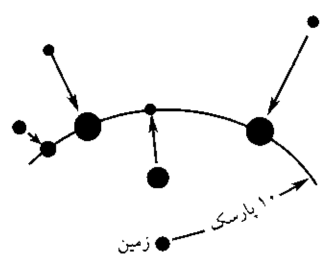
قانونی که بنابر آن سرعت گریز کهکشان‌ها و اجرام فراکهکشانی دیگر متناسب با فاصلهٔ آنها است. ضریب تناسب را ثابت هابل نامند. نگاه کنید به ثابت هابل.

قدر (یا قدر ظاهری)

عددی که حاکی از روشنی ظاهری یک ستاره است. ستاره‌های پرنور با اعداد کوچک (مثلاً قدر ۱) مشخص می‌شوند و ستاره‌های کم‌فروغ با اعداد بزرگ (مثلاً قدر ۱۵).

قدر مطلق

قدری که به ستاره‌ای نسبت داده می‌شود هرگاه آن ستاره به فاصلهٔ ده پارسکی برده شود. بنابراین ستاره‌هایی که فاصلهٔ آنها از منظومهٔ شمسی کمتر از ده پارسک است چون در این فاصله قرار گیرند کم‌سوتر به نظر خواهند رسید و آنها که فاصله‌اشان بیشتر است پرنورتر خواهند نمود.



قدرمطلق

قطب‌های آسمان

نقاط تقاطع ادامهٔ محور زمین با کرهٔ آسمان.

قمر

جرمی سماوی که به دور یکی از سیارات حرکت می‌کند، مانند ماه. همچنین هر

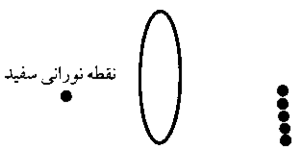
جسم کوچکی که به دور جسمی بزرگ‌تر، بگردد خواه ساخته دست بشر باشد یا نباشد.

قیفاوسی

ستاره‌ای که روشنی آن بر اثر تپش، به طور تناوبی تغییر می‌کند.

کجنمایی رنگی (یا نقص رنگی)

محو شدن تصویر در نتیجهٔ جدا شدن رنگ‌ها به وسیلهٔ یک عدسی؛ یک نقطهٔ نور سفید از شئ در تصویر به صورت طیف کاملی از نقاط رنگین ظاهر می‌شود.



کجنمایی رنگی (یا نقص رنگی)

کجنمایی کروی

نقیصه‌ای در شکل عدسی. نوری که از نزدیکی لبهٔ یک عدسی کروی می‌گذرد، بیشتر تقارب حاصل می‌کند تا نوری که از حوالی مرکز آن عبور می‌کند، در نتیجه تصویر اندکی محو می‌شود.

کرهٔ آسمان

یا کرهٔ سماوی. کره‌ای خیالی به شعاع بی‌نهایت و محیط بر زمین که چون پرده‌ای تصور می‌شود که همهٔ اجرام سماوی بر زمینهٔ آن اند.

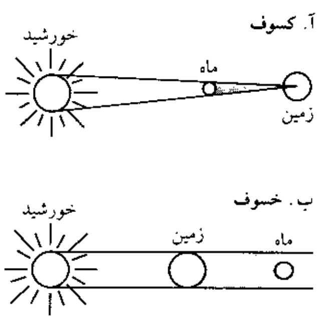
کسوف حلقوی

کسوف بخش مرکزی قرص خورشید. در این کسوف از خورشید فقط حلقه‌ای دیده می‌شود.

کسوف و خسوف

آ. کسوف. ماه بین خورشید و زمین قرار می‌گیرد و نور خورشید به قسمت‌هایی از سطح زمین نمی‌رسد.

ب. خسوف. زمین بر سر راه نور خورشید به ماه قرار می‌گیرد و ماه تاریک می‌شود.



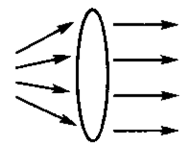
کسوف و خسوف (یا گرفت)

کشند

جزر و مد. نگاه کنید به کِهکشند و مِهکشند.

کلف‌های خورشیدی
لکه‌های تیره‌ای (نسبت به نواحی مجاور خود) که گه‌گاه در نورسپهر خورشید ظاهر می‌شود.

کلیماتور (یا عدسی موازی‌ساز)
عدسیی که کار آن موازی هم‌کردن شعاع‌های نور است.


کلیماتور (یا عدسی موازی ساز)

کمربندهای تابشی وان آلن
دو ناحیهٔ چنبره مانند از ذرات پرانرژی که زمین را احاطه کرده‌اند.

کنارگذر
مأموریتی تحقیقاتی که در آن ماهواره‌ای در حین گذشتن از نزدیکی شیء مورد پژوهش، به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازد.

کوتولهٔ سفید
ستاره‌ای به رنگ سفید با درخشندگی کم، قطر کوچک و چگالی فوق‌العاده زیاد.

کوتولهٔ سیاه
بقایای سرد ستارهٔ «مرده»ای که همهٔ منابع انرژی‌اش را به پایان برده است.

کوتولهٔ قهوه‌ای
ستاره‌ای که جرمش کمتر از آن است که واکنش‌های هسته‌ای بتوانند در هستهٔ آن صورت پذیرند. حد جرم مربوط به آن در حدود ۰٫۰۸ جرم خورشید است.

کهکشان
اجتماع بزرگی از ستارگان در فضا. مانند راه کاهکشان (کهکشان ما) که خورشید بدان تعلق دارد. کهکشان‌ها هر یک شامل بیلیون‌ها ستاره اند. شکل بسیاری از کهکشان‌ها مارپیچی است.

کهکشان رادیویی
یک چشمهٔ رادیویی برون کهکشانی که بر کهکشانی مرئی منطبق باشد و توان رادیویی در گسترهٔ 10^{15} تا 10^{18} وات باشد.

کهکشان سی‌فرت

کهکشانی با هستهٔ درخشان و کوچک و بازوهای مارپیچی بسیار ضعیف، که عمدتاً در طول موج‌های رادیویی فعال است. نگاه‌کنید به **هسته کهکشانی فعال**.

کهکشان فعال

نگاه‌کنید به هستهٔ کهکشانی فعال.

کهکشند

کم‌ارتفاع‌ترین کشند هر ماه.

گردونهٔ خدمات

در برنامهٔ آپولو و برنامه‌های فضایی دیگر، آن قسمت از سفینه که شامل منبع نیرو، مواد ذخیره و سوخت است.

گردونهٔ فرود

نام گردونه‌ای که در برنامهٔ آپولو دو سرنشین را از گردونه‌های فرماندهی به سطح ماه فرود آورد و بازگرداند.

گرفت

نگاه‌کنید به‌کسوف و خسوف.

گروه محلی

مجموعه کهکشانی‌ای که کهکشان‌ها هم عضوی از آن است. کهکشان‌های گروه محلی تنهاکهکشان‌هایی هستند که از ما دور نمی‌شوند.

لایهٔ واگردان

پایین‌ترین لایه از سه لایهٔ جو خورشید. بیشتر خطوط تاریک طیف خورشید در این لایه به وجود می‌آید.

لیبراسیون

نگاه‌کنید به رُخ‌گرد.

مادهٔ تاریک

ماده‌ای که احتمالاً بیش از ۷۵ درصد مادهٔ عالم را تشکیل می‌دهد ولی جز از طریق آثار گرانشی آن قابل آشکارسازی نیست.

مارینر

نام دسته‌ای از سفینه‌های فضایی ایالات متحده امریکا که برای کسب اطلاعات از زهره، عطارد و مریخ طرح شدند. مارینر ۲ در ۱۴ دسامبر ۱۹۶۲ از ۳۵،۰۰۰ کیلومتری زهره گذشت، مارینر ۹ (که در ۳۰ مه ۱۹۷۱ پرتاب شد) به ۱،۵۰۰ کیلومتری مریخ رسید و نخستین سفینهٔ فضایی بود که حول سیاره‌ای جز زمین بر مدار قرار گرفت. مارینر ۱۰ (که در ۳ نوامبر ۱۹۷۳ پرتاب شد) از ۵،۸۰۰ کیلومتری زهره و ۷۰۰ کیلومتری عطارد گذشت. این نخستین سفینهٔ عطاردآزما بود. مارینرهای ۱۱ و ۱۲ در اوت و سپتامبر ۱۹۷۷ پرتاب شد.

ماهواره

شیئی ساختهٔ دست بشر که بر مداری برگرد زمین یا هر جرم سماوی دیگر مانند خورشید یا ماه قرار داده شده‌است.

متغیرهای RR- شلیاقی

ستاره‌های متغیری با تغییرات بسیار منظم و دوره‌های تناوب بسیار کوتاه (یک روز) یا کمتر. درخشندگی آنها، یکسان و در حدود ۹۰ برابر درخشندگی خورشید است.

متغیرهای قیفاوسی

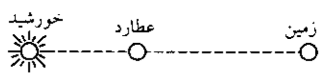
ستاره‌های متغیری با دورهٔ تناوب کوتاه. تغییرات آن‌ها بسیار منظم است. دورهٔ تناوب آن‌ها رابطهٔ مشخصی با درخشندگی‌شان دارد.

مشعل‌ها

قسمت‌هایی از سطح خورشید که در مقایسه با نواحی مجاور پرنورتر به نظر می‌رسند.

مقارنه

بر یک خط شدن ظاهری خورشید، زمین و یکی از سیارات است. مقارنهٔ داخلی (سفلی) هنگامی است که سیاره بین زمین و خورشید قرار گیرد.



مقارنه داخلی

مقارنهٔ خارجی هنگامی روی می‌دهد که سیاره در آن سوی خورشید باشد.



مقارنه خارجی

منحنی نور

نموداری که تغییرات روشنی یک ستارهٔ متغیر (یا هر جسم دیگری که روشنی آن تغییر می‌کند) را بر حسب زمان نمایش می‌دهد.

منطقة‌البروج

نواری از کرهٔ آسمان به عرض °۸ در هر سوی دایرة‌البروج. منطقة‌البروج در طول به دوازده بخش تقسیم شده است: هر قسمت °۳۰ را یک «برج» می‌خوانند. بروج را به نام‌های صور فلکی نامیده‌اند که بیش از ۲۰۰۰ سال پیش در زمان ابرخس در آنها واقع بودند. خورشید، ماه و سیارات ظاهراً این نوار را می‌پیمایند. خورشید در هر فصل سال از میان سه برج می‌گذرد؛ مثلاً در بهار، حمل، ثور و جوزا را می‌پیماید.

منظومهٔ کپرنیکی

منظومه‌ای که در آن خورشید در مرکز عالم فرض می‌شود و زمین و سیارات دیگر به دور خورشید می‌گردند.

موشک

«لوله»ای که برای حرکت در فضا ساخته شده است و نیروی محرک خود را از گازهای داغ و منبسط شونده‌ای که دفع می‌کند - و جت نامیده می‌شود - به دست می‌آورد. این گازها در موتور موشک تولید می‌شود. موشک در داخل خود همهٔ مواد لازم برای تولید جت را ذخیره دارد.

مهبانگ سوزان

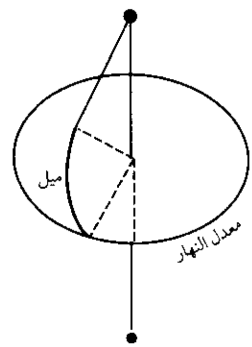
نظریه‌ای درکیهانشناسی که بنا بر آن عالم، یعنی ماده، فضا و زمان در یک انفجار غول‌آسای سوزان پدید آمد.

مِهکشند

بلندارتفاع‌ترین کشند هر ماه.

میل

فاصلهٔ زاویه‌ای جرم سماوی از معدل‌النهار که بر حسب درجه، دقیقه و ثانیه سنجیده می‌شود. میل نظیر عرض جغرافیایی در جغرافیاست.



میل

ناحیه‌های HI و HII

ابرهای ئیدروژن در کهکشان ما. در ناحیه HI اتم‌های ئیدروژن خنثی هستند؛ در ناحیه HII این اتم‌ها بر اثر تابش ستاره‌های سوزان، یونیده‌اند. ناحیه‌های HII به صورت سحابی‌های گاز، می‌درخشند.

نجوم رادیویی

شاخه‌ای از نجوم که به‌امواج رادیویی گسیل شده از اجرام گوناگون سماوی و نیز به نظریهٔ گسیل این امواج می‌پردازد.

نسبت باز تاب

نسبت (درصد) نور منعکس شده از یک جسم، مثلاً یک سیاره، به کل نوری که بر آن تابیده شده است.

نظریه مهبانگ

نگاه کنید به مهبانگ سوزان

نظریهٔ حالت پایدار

نظریه‌ای که بنا بر آن عالم همیشه موجود بوده است و همواره وجود خواهد داشت و ماده، دائماً در آن خلق می‌شود. این نظریه چندان مقبول نظر نیست.

نقطهٔ اعتدال (یا اعتدال)

هریک از دو نقطهٔ تقاطع دایرةالبروج و معدل‌النهار، هنگامی که خورشید در هر یک از این دو نقطه باشد طول روز و شب در همهٔ نقاط زمین برابر است. خورشید هر سال، در حدود اول فروردین (اعتدال بهاری) و اول مهر ماه (اعتدال تیرماهی یا پائیزی) در این نقاط است.

نقطهٔ انقلاب

نقطه‌ای که در آن زاویهٔ میل خورشید بر دایرةالبروج بیشترین مقدار را دارد.

انقلابین در نیمهٔ راه نقاط اعتدال واقعند. در نیمکرهٔ شمالی، انقلاب صیفی (تابستانی) زمانی واقع می‌شود که خورشید در دورترین وضعیت شمالی از معدل‌النهار است. در هنگام انقلاب شتوی (زمستانی) خورشید در دورترین وضعیت جنوبی است.

نمودار هرتسپرونگ - راسل

نموداری که توزیع پراکندهٔ ستارگان را بر حسب درخشندگی و دمای آنها به دست می‌دهد. این توزیع رابطه‌ای با سنین مختلف ستارگان دارد.

نواختر

ستاره‌ای که روشنی آن ناگهان زیاد می‌شود و سپس به مقدار اولیه‌اش برمی‌گردد.

نواختر بازآیند

ستاره‌ای که می‌دانیم بیش از یک بار دستخوش انفجار نواختری شده است.

نوترون

ذره‌ای بنیادی که دارای بار الکتریکی نیست ولی جرم آن برابر با جرم پروتون است.

نوترینو

ذره‌ای بنیادی که بار الکتریکی ندارد و ظاهراً جرم سکون آن هم صفر است.

نورباران

نقطه‌ای در آسمان که به نظر می‌رسد شخانه‌ها از آن می‌آیند.

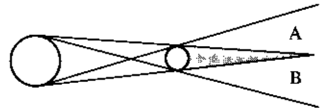
نورسپهر

سطح مرئی خورشید یا یک ستاره. زیر آن، بخش داخلی خورشید و بالای آن جو خورشید است.

نورسنج فوتوالکتریکی

وسیله‌ای که برای سنجش روشنی اجرام سماوی به‌کار می‌رود. اساساً از یک سلول فوتو الکتریک تشکیل شده که به همراه تلسکوپ مورد استفاده قرار می‌گیرد. سلول

فوتو الکتریک وسیله‌ای الکترونیکی است که اگر نور بر آن بتابد، جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. شدت جریان ایجاد شده بستگی به شدت نور تابیده شده دارد.



نیمسایه

نیمسایه
بخش خارجی و روشن‌تر سایه‌ای که یک سیاره یا قمر می‌اندازد، نظیر نواحی A و B.

واحد نجومی
فاصلهٔ متوسط زمین از خورشید، ۱۵۰ میلیون کیلومتر یا به عبارت دقیق‌تر ۱۴۹،۶۰۰،۰۰۰ کیلومتر.

ونرا
نام دسته‌ای از سفینه‌های فضایی شوروی که برای کسب اطلاعات در باره زهره ساخته شدند.

هالهٔ کهکشان
تودهٔ کروی شکل ستاره‌ها، گرد یک کهکشان مارپیچی که شعاعش تقریباً برابر شعاع قرص کهکشان است. هاله شامل تعداد زیادی ستارهٔ جمعیت II و خوشه‌های کروی است.

هستهٔ کهکشانی فعال
یا کهکشان فعال، کهکشانی است از چشمه بسیار فشردهٔ مرکزی آن مقدار زیادی انرژی به صورت امواج رادیویی گسیل می‌شود. در کهکشان‌های سی‌فرت، کهکشان‌های BL- سوسمار و اخترنماها، این نیروگاه مرکزی را مستقیماً می‌توان مشاهده کرد.

یون‌کره
چندین لایهٔ یونیدهٔ هوا در ارتفاعات بالای جو زمین. یون‌کره در بازتاب امواج رادیویی نقش مهمی را ایفا می‌کند.

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

آ

آئرولیت	aerolite
آثار جزر و مدی	tidal effects
آثارکشندی ← آثار جزر و مدی	
آخرالنّهر	Achernar
آذرین	igneous
آزمون فوکو	Foucault's test
آسمانی	celestial
آشکارسازی	detection
آفتاب	sunlight
آفرینش مدام	continuous creation
آلفای قنطورس	Alpha Centauri
آهنربای میله‌ای	bar magnet

الف

ابر اورت	Oort cloud
ابر بزرگ ماژلان	Greater Magellanic Cloud
ابرستاره‌های دنباله‌دار	comet cloud
اَبرغول	supergiant
اَبرغول سرخ	red supergiant
ابر کوچک ماژلان	Lesser Magellanic Cloud
اَبرنواختر	supernova
ابرهای ئیدروژن خنثی	neutral hydrogen clouds
ابرهای ئیدروژن یونیده	ionized hydrogen clouds
ابرهای سیروس‌مانند	cirrus-like clouds
ابرهای ماژلان	Magellanic Clouds
ابطالجوزا	Betelgeuse
اپتیک تطابقی	adaptive optics
اتصال	junction
اثر دوپلر	Doppler effect
اثر زیمان	Zeemann effect
اثر فوتوالکتریک	Photoelectric effect
اثر گلخانه	greenhouse effect
اثر مغناطیسی	magnetic effect
اجاق تبرید	annealing oven
اجرام BL- سوسمار	BL-Lac objects
احکام نجوم	astrology
اخترفیزیک	astrophysics
اخترنگار	astrograph
اخترنما	quasar
اختفا	occultation
اختلاف منظر	parallax
اختلاف منظر خورشیدمرکزی	heliocentric parallax

ارابه‌ران ← عوّا
ارتفاع altitude
اسپین spin
استقرار mounting
استقرار استوایی equatorial mounting
استقرار دابسونی Dobsonian mounting
استقرار سمت-ارتفاعی alt-azimuth mounting
استقرار معدل‌النّهاری ← استقرار استوایی
استوای آسمان ← معدل‌النَهار
اسد Leo
اسد اصغر Leo Minor
اسدیها Leonids
اشتران ماده ← قلائص
اشعه rays
اصطکاک friction
اعتدال equinox
اعتدال پائیزی autumnal equinox
اعتدال تیرماهی ← اعتدال پائیزی
اعتدال خریفی ← اعتدال پائیزی
افق رویداد event horizon
اکلیل شمالی Corona Borealis
الکترون electron
الگوی پراش diffraction pattern
اِمرَأةُ‌المُسَلسَله Andromeda
امواج رادیویی radio waves
انبساط عالم expansion of universe
انتشار propagation
انتقال به سرخ red shift
انحنا curvature
اندودن coating
انرژی energy
انگیزش agitation
انورِ فرقدان Kochab
اوج خورشیدی aphelion
اوج زمینی apogee
اورانوس Uranus
اهلّه phases
ئیدروژن خنثی neural hydrogen
ئیدروژن میان- ستاره‌ای interstellar hydrogen

ب

باد خورشیدی solar wind
بادهای بسامان trade winds
بازتابنده reflecting
بازتابی reflecting
بازوهای مارپیچی spiral arms
بازه interval
بانگ‌کننده ← عوّا
بدر full moon
برآمدگی (موج) crest
برافزایش accretion
برانگیختگی excitation
برج zodiacal constellation
برجیس ← مشتری
برساوش Perseus
برساوشیها perseids
برکیا breccia
برندهٔ سرغول ← برساوش
بروج signs of zodiac
برونداد output
برهم‌کنش ضعیف weak interaction
بزبان ← عیّوق
بزرگ‌منش ← جبار

بزرگ‌نمایی	magnification
بزرگ‌نمایی زاویه‌ای	angular magnification
بزرگ‌نمودن	magnify
بزغالگان (صورت فلکی ممسک‌العنان)	the kids
بُعد	right ascension
بلندبرد	long-range

بَناتُ‌النَّعش صُغری ← دب اصغر

بَناتُ‌النَّعش کُبری ← دب اکبر

بهرام ← مریخ

بیرون‌کره	exosphere

پ

پادماده	antimatter
پارسک	parsec
پالاس	Palas
پایدار	steady
پایه	mount
پخ	oblate
پخش	diffusion
پخش جوی	atmospheric diffusion
پراش	diffraction
پراکندگی	scattering
پراکندگی برگشتی	back scattering
پروتون	proton
پروکسیمای قنطورس	Proxima Centauri
پریشنده	perturbing
پریشیدگی	perturbation
پریشیده	perturbed
پلاسما	plasma
پلوتون	pluto
پوسته	crust
پوستهٔ همرفتی	convective shell
پوشکره	stratosphere
پیش-ستاره	proto-star
پیش-سیاره	proto-planet
پیش-قمر	proto-satellite
پیمایش	navigation

ت

تابش	radiation
تابش زمینهٔ میکروموجی کیهانی	cosmic microwave background radiation
تابه	beam
تاج	corona
تاج‌نگار	coronograph
تپ‌اختر	pulsar
تپش	pulsation
تپیدن	pulsate

تثلیث ← کوژماه

تجزیهٔ نور	dispersion
تخت	plane
تخلیهٔ الکتریکی	electric discharge
تداخل	interference
تداخل‌سنج	interferometer
تداخل‌سنج پیسه‌ای	speckle interferometer
تداخل‌سنج تابه‌ای	beam interferometer
تداخل نابودکننده	destructive interference
تراکمی	compressional
تربیع	quardrature, quarter moon
ترموکوپل	thermocouple
تسبیح‌دانه‌های بیلی	Bailey's beads
تشدید گرانشی	gravitational resonace

تصاعد حسابی	arithmetic progression
تصاعد هندسی	geometric progression
تصویر اول	first image
تصویر نهایی	final image
تقدیم اعتدالین	precession of equinoxes
تقویم سالانه اختری	almanac
تکانهٔ زاویه‌ای	angular momentum
تکثیرگر نور	photomultiplier
تکشاخ	Monoceros
تک‌فام	monochromatic
تلاطم	turbulence
تلسکوپ	telescope
تلسکوپ اشمیت	Schmidt telescope
تلسکوپ چندگانه	multiple telescope
تلسکوپ رادیویی	radio telescope
تلسکوپ عدسی- آینه‌ای	mirror-lens telescope
تلسکوپ ماکسوتف- باورز	Maksutov-Bouwers telescope
تلسکوپ نوری	optical telescope
تمرکز جرم، تراکم جرم	mass concentration
توان	power
توان بزرگ‌نمایی	magnifying power
توان تفکیک	resolving power
توان جمع‌آوری نور	light-gathering power
توأمان ← دوپیکر، جوزا	
توری پراش	grating
توزیع انرژی	energy distribution
توکان	Tucana
توله (شعرای یمانی)	the Pup
تیر شهاب،	shooting star, meteor
تیرگی کناره‌ای	limb darkening
تیر ← عطارد	
تیشتر ← شعرای یمانی	
تیغهٔ تصحیح‌کننده	corrector plate

ث

ثابت تابش خورشیدی	solar constant of radiation
ثابت خورشیدی	solar constant
ثابت عام گرانش	universal gravitational constant
ثابت هابل	Hubble constant
ثریا ← خوشهٔ پروین	
ثعبان ← ذیخ	
ثوابت	fixed stars
ثور	Taurus

ج

جاثی	Hercules
جاثی علیٰ رُکبَته ← جاثی	
جاذبه	attraction
جبار	Orion
جباری‌ها	Orionids
جبه	mantle
جبهه (هوا)	front
جدول ستارگان	star catalogue
جَدیٌ	Capricorn
جُدَی	Polaris
جذب	absorption
جذب جوی	atmospheric absorption
جذب‌کننده	absorber
جذب گزینشی	selective absorption
جرم آسمانی	heavenly body
جرم پنهان	hidden mass

جرم سماوی	Celestial body
جریان الکتریکی	electric current
جزر و مد	tide
جستجوگر	scanner
جسم سیاه	black body
جمع شونده، جمعی	cumulative
جمعیت ستاره‌ای	stellar population
جمعی ← جمع شونده	
جنوبگان	Antarctica
جوزا	Gemini
جوزائیها	Geminids
جوزا← جبار	
جوزهر ←گره	
جون	Alioth
جونو	Juno
جهان	universe
جهان- جزیره	island universe

چ

چرخه	cycle
چشمک زدن	twinkling
چشمهٔ مجزا	discrete source
چشمی	eyepiece
چگال	dense
چگالی بحرانی	critical density
چنگ رومی ← شلیاق	

ح

حامل رأس‌الغول ← برساوش	
حد چاندراشیکار	Chandrasehkar limit
حد روش	Roche limit
حد فاصل	terminator
حرکت انتقالی (زمین و سیارات)	revolution
حرکت تقدیمی	precession
حرکت حضیضی (خورشیدی)	Perihelionic motion
حرکت خاص	proper motion
حرکت رجعی	retrograde motion
حرکت سیارات	planetary motion
حرکت ظاهری	apparent motion
حرکت عام (یا مشترک)	common motion
حرکت عرضی	cross motion
حرکت معکوس ← حرکت رجعی	
حرکت منطقه‌ای	zonal motion
حرکت واقعی	true motion
حرکت وضعی	rotation
حضیض خورشیدی	perihelion
حضیض زمینی	perigee
حفاظ گرمایی	heat shield
حلقهٔ زحل	ring of saturn
حمّال	Carina
حمل	Aries
حوت	Pisces
حوت جنوبی	Piscis Austrinus

خ

خاک سنباده	emery
خاموشی	fadeout
خاموشی رادیویی	radio fadeout
خرده شهابوار	micrometeoroid
خرگوش	Lepus
خروج از مرکز	eccentricity

خسوف lunar eclipse
خسوف جزئی partial lunar eclipse
خسوف کلی total lunar eclipse
خط وضعیت line of position
خورشیدگرفتگی ←کسوف
خورطیف‌نگار spectroheliograph
خورطیف‌نگاشت spectroheliogram
خورلرزه‌شناسی helioseismology
خوشه cluster
خوشهٔ باز open cluster
خوشهٔ پروین Pleiades
خوشهٔ ستاره‌ای star cluster, stellar cluster
خوشهٔ کروی globular cluster

د

دارندهٔ عنان ←ممسک‌العنان
دانه‌ای بودن granulation
دایرهٔ اعتدال equinoctial colure
دایرهٔ ساعتی hour circle
دایرهٔ قائم vertical circle
دایرهٔ نیمروزان ← نصف‌النهار، نصف‌النهار سماوی
دایرةالبروج Ecliptic
دب اصغر Ursa Minor
دب اکبر Ursa Major
دَبَران Aldebaran
دُبّه Dubhe
۶۱-دجاجه 61 cygni
دَجاجه Cygnus
درخش flash
درخشش brilliance
درخشندگی luminosity
درخشنده luminous
دریاها (در ماه) maria
دریای آرامش mare serenitatis
دریای بحران‌ها mare crisium
دریای حاصلخیزی mare fecundatis
دریچه window
دریچهٔ تصویر image stop
دریچهٔ رادیویی radio window
دریچهٔ نوری optical window
دست حنا بسته ←کَفِ خَضیب
دستگاه نمونه‌برداری خاک soil sampler
دشت کرایسی Chryse Planitia
دشت یوتوپیا Utopia Planitia
دلو Aquarius
دلویها Aquarids
دما temperature
دمای جسم سیاه black body temperature
دمای جنبشی kinetic temperature
دمای رنگ color temperature
دمای مطلق absolute temperature
دمای مؤثر effective temperature
دنبالهٔ خسوف‌ها، دنبالهٔ خسوفی series of lunar eclipses
دوام duration
دوپیکر Twins, Gemini
دوپیکری‌ها ← جوزائی‌ها
دوتایی بصری visual binary
دوتایی پرتو-X X- ray binary
دوتایی طیف‌نمودی spectroscopic binary
دوتایی گرفتی (کسوفی) eclipsing binary
دور cycle
دوران rotaton
دورقطبی circumpolar

دوره	cycle
دوره	epoch
دورهٔ تناوب	period
دورهٔ تناوب نجومی	sidereal period
دورهٔ تناوب هلالی	synodic period
دوری	elongation
دوسوکاو	double concave
دوسوکوژ	double convex
دوشیزه ← سنبله	
دوکاو←دوسوکاو	
دوکوژ←دوسوکوژ	
دهانه	crater
دهانهٔ مانیکواگان	Manicouagan crater

ذ

ذاتُ‌الکُرسی	Cassiopeia
ذرهٔ آلفا	alpha particle
ذرهٔ پرانرژی	high energy particle
ذَنَب‌الدَّجاجه	Deneb
ذوذَنَب ← ستارهٔ دنباله‌دار	
ذیخ	Thuban

ر

رادیومتر	radiometer
رأس	head
رأس‌التوأم‌المقدَم ← رأس پیکر پیشین	
رأس‌التوأم‌المؤخر ← رأس پیکر پسین	
رأس‌الحَمَل ← ناطِح	
رأس‌الغول	Algol
رأس پیکر پسین	Pollux
رأس پیکر پیشین	Castor
رامی ← قوس	
رانهٔ قاره‌ای	continental drift
راه شیری ← راه‌کاهکشان	
راه‌کاهکشان	Milky Way, the Galaxy
رایانه	computer
رِجل‌الجبّار	Rigel
رِجل‌الجوزا ← رجل‌الجبار	
رِجل قنطورس	Rigil Kentaurus
رُخ‌گرد	libration
رُخ‌گرد روزانه	diurnal libration
رُخ‌گرد طولی	longitudinal libration
رُخ‌گرد عرضی	latitudinal libration
رِدف ← ذنب‌الدجاجه	
رشتهٔ اصلی	main sepuence
رصد	observation
رقص محوری	nutation
رگبار شخانه‌ای	meteoric shower
رگولیت	regolith
رگه	streaks, rays
رمیش، رمبیدن	collapse
رودبستر	rill
روز متوسط خورشیدی	mean solar day
روشنی	brightness
روشنی ذاتی	intrinsic brightness

ز

زانوزده ← جاثی	
زاویهٔ ساعتی نجومی	sidereal hour angle
زاویهٔ سمت	azimuth
زاویهٔ میل	inclination

زبانه prominence
زُبانی جنوبی Zubenelgenubi
زحل Saturn
زمان عام universal time
زمین‌مرکزی geocentric
زمینهٔ میکروموجی کیهانی Cosmic microwave background
زن به زنجیر بسته ← امراةالمسلسله
زهره Venus

ژ

ژیروسکوپ gyroscope

س

ساروس saros
سال اعتدالی tropical year
سال فصلی season year
سال نوری light year
سایا abrasive
سایه umbra
سپیدهٔ قطبی ← شفق قطبی
ستارگان ایستاده ← ثوابت
ستارهٔ بامدادی morning star
ستارهٔ تپنده pulsating star
ستارهٔ چندگانه multiple star
ستارهٔ دنباله‌دار comet
ستارهٔ دنباله‌دار بروکز Brooks' comet
ستارهٔ دنباله‌دار دوناتی Donati's comet
ستارهٔ دنباله‌دار هالی Halley's comet
ستارهٔ دوتایی binary star
ستارهٔ دوگانه double star
ستارهٔ شامگاهی evening star
ستارهٔ صباحی ← ستارهٔ بامدادی
ستارهٔ غول giant star
ستارهٔ قطبی ← جُدی
ستارهٔ گرفتی eclipsing star
ستارهٔ مسایی ← ستارهٔ شامگاهی
ستارهٔ نوترونی neutron star
سحابی nebula
سحابی بازتابی reflection nebula
سحابی برون-کهکشانی extra-galactic- nebula
سحابی بزرگ جبار Great Nebula of Orion
سحابی بزرگ حلقه زده Great Looped Nebula
سحابی تاریک dark nebula
سحابی جغد Owl Nebula
سحابی حلقه Ring Nebula
سحابی خرچنگ Crab Nebula
سحابی سراسب Horse-head Nebula
سحابی سیاره‌ای planetary nebula
سحابی گازی gaseous nebula
سحابی گسیلشی emission nebula
سحابی نعل اسب Horseshoe Nebula
سرس Ceres
سرطان (صورت فلکی) Cancer
سرعت شعاعی radial velocity
سرعت ظلی (یا مماسی) tangential velocity
سرعت فضایی space velocity
سرعت گریز velocity of escape
سرعت مداری orbital velocity
سُرَّةالفَرَس Alpheratz
سفینه Argo
سِماک اعزَل Spica

سِماک رامِح	Arcturus
سماوی	celestial
سمت‌الرَّأس	zenith
سمت ← زاویهٔ سمت	
سنبله	Virgo
سُها	Alcor
سهموی	parabolic
سهمیوار	paraboloid
سُهیل	Canopus
سیارات زبرین	superior planets
سیارات زیرین	interior planets
سیارات سفلی ← سیارات زیرین	
سیارات علوی ← سیارات زبرین	
سیارک	asteroid, planetoid
سیارک‌های برجیسی	Trojans
سیاره	planet
سیارهٔ خرد	minor planet
سیارهٔ زمین‌مانند	terrestrial planet
سیارهٔ زمینی ← سیارهٔ زمین‌مانند	
سیارهٔ مشتری‌مانند	Jovian planet
سیاه‌چاله	black hole
سیدرولیت	siderolite
سیدریت	siderite
سیکل پروتون-پروتون	proton-proton cycle
سیکل کربن	carbon cycle
سیکل ← دور	

ش

شبانه‌روز	day
شبانه‌روز نجومی	sidereal day
شباهنگ ← شعرای یمانی	
شبکیه	retina
شتاب گرانش سطحی	surface gravity
شجاع	Hydra
شخانه	meteor
شراره	flare
شراره‌های فام‌سپهری	chromospheric flares
شعاع انحنا	radius of curvature
شعاع حامل	radius vector
شعاع شوارتزشیلد	Schwartzschild radius
شعرای شامی	Procyon
شعرای یمانی	Sirius
شفق قطبی	aurora
شفق قطبی جنوبی	aurora australis
شفق قطبی شمالی	aurora borealis
شکارچی ← جبار	
شکافتگی	splitting
شکافتن (خطوط طیفی)	split
شکاف چشمه	source slit
شکاف طیف	spectrum slit
شکاف کاسینی	Cassini division
شکستی	refracting
شلیاق	Lyra
شلیاقی‌ها	Lyrids
شمال جغرافیایی	geographic north
شمال‌جو	northseeking
شُوله	Shaula
شهابسنگ	meteorite
شهابسنگ آهنی	iron meteorite
شهابسنگ سنگی	stoney meteorite
شهابوار	meteoroid
شیئی	objective
شیر خرد ← اسداصغر	

شیر ← اسد	
شیشهٔ پیرکس	pyrex glass
شیشهٔ فلینت	flint glass
شیشهٔ کراون	Crown glass

ص

صافی	filter
صَدر	Schedar
صدر ذاتُ‌الکرسی ← صدر	
صفحهٔ عکاسی حساس به نور آبی	blue-sensitive plate
صفحهٔ عکاسی حساس به نور سرخ	red-sensitive plate
صفحهٔ کانونی	focal plane
صلیب جنوبی	Crux, Southern Cross
صلیب (ستاره)	Acrux
صلیب ← صلیب جنوبی	
صورت فلکی	constellation

ض

ضریب انبساط گرمایی	coefficient of thermal expansion
ضِفدع دوم	Diphda

ط

طوفان شراره‌ای	flare storm
طوفان مغناطیسی	magnetic storm
طول جغرافیایی	longitude
طول موج	wavelength
طیف	spectrum
طیف پیوسته	continuous spectrum
طیف جذبی	absorption spectrum
طیف خط تاریک	dark-line spectrum
طیف خط روشن	bright-line spectrum
طیف درخشی	flash spectrum
طیف‌سنج	spectrometer
طیف‌نگار	spectrograph
طیف‌نما	spectroscope
طیف‌نمای منشوری	prism spectroscope
طیف‌نمایی	spectroscopy
طیف‌نمودی	spectroscopic

ظ

ظَلیم	Acamar

ع

عالم	universe
عالم در حال انبساط	expanding universe
عالم نوسان‌کننده	oscillating universe
عبور	transit
عبور نصف‌النهاری، عبور نصف‌النهاری زبرین	culmination
عدد f	f-number
عدسی آکروماتیک (غیررنگی)	achromatic lens
عدسی دید	eye lens
عدسی عاری از نقص رنگی	color-free lens
عدسی مرکب	compound lens
عدسی میدان	field lens
عدسی هلالی	meniscus lens

عذرا←سنبله

عرض جغرافیایی	latitude
عرض خورشیدی	solar latitude
عُطارد	Mercury
عقاب	Aquila
عقده	node
عقدهٔ ذنب	descending node
عقدهٔ رأس	ascending node
عقرب	Scorpius
علامت راداری	radar signal

علم احکام نجوم ← احکام نجوم

عناق	Mizar
عَوّا	Bootes
عیّوق	Capella

غ

غول سرخ	red giant

غول ← ستاره غول

غیردورقطبی	non-circumpolar

ف

فاصلهٔ کانونی	focal length
فام‌سپهر	chromosphere
فِخذ	Pheeda
فرابنفش	ultraviolet
فرّار	volatile
فَرد	Alphard
فَرَس اعظم	Pegasus

فَرَس اول ← فرس اعظم

فرضیهٔ برخورد	encounter hypothesis

فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه
double star encounter hypothesis

فرضیهٔ تصادم	collision hypothesis
فرضیهٔ کشندی	tidal hypothesis
فرورفتگی (موج)	trough
فروزان	incandescent
فروزش	incandescence
فروسرخ	infrared
فسفر سرخ	red phosphorus
فسفین	phosphine
فشار تابش	radiation pressure
فشار سطحی	surface pressure
فضاآزما	space probe
فضای میان-ستاره‌ای	interstellar space
فعالیت آتشفشانی	volcanic activity

فَکّه ← اکلیل شمالی

فلوئورورمنیزیم	magnesium fluoride
فَمُ‌الحوت	Famolhout
فوبوس	phobos

فهرست مه‌سیه ←کاتولوگ مه‌سیه

ق

قائد	Alkaid
قاعدهٔ بد	Bode's rule
قانون وین	Wien's law
قدر	magnitude
قدر ظاهری	apparent magnitude

قدر ظاهری مرئی (بصری)
apparent visual magnitude

قدر مطلق	absolute magnitude
قراولان	Pointers

قطب سماوی	celestial pole
قطبیت	polarity
قطر اطول	major axis
قطر اقصر	minor axis
قطر خطی	linear diameter
قطر زاویه‌ای	Angular diameter
قطری	diagonal
قَلائِص	Hyades
قلب‌الاسد	Regulus
قلب‌العقرب	Antares
قمر	satellite
قمر مصنوعی ← ماهواره	
قِنطورس	Centaurus
قوس	arc
قوس	Saggitarius
قَیطُس	Cetus
قیفاوس	Cepheus
قیفاوسی	cepheid
قیفاوسی‌های نوع خوشه‌ای	cluster-type cepheids

ک

کاتادیوپتریک (عدسی - آینه‌ای)	catadioptric
کاتالوگ عمومی جدید	New General Catalogue(N.G.C.)
کاتالوگ مه‌سیه	Messier Catalogue
کارآ	efficient
کاروان‌کُش ← شعرای یمانی	
کاسهٔ درویشان ← اکلیل شمالی	
کانون لرزه	focus of quake
کانیون	canyon
کاو	concave
کاوه	Probe
کاوهٔ فضایی	space probe
کبوتر	Columba
کپه	swarm
کجنمایی	aberration
کجنمایی رنگی	chromatic aberration
کجنمایی کروی	spherical aberration
کدر	opaque
کرایسی پلانیتیا	Chryse Planitia
کرکس پرنده ← نسر طائر	
کرکس نشسته ← نسر واقع	
کره‌وار	spheroid
کرهٔ آسمان	celestial sphere
کژدم ← عقرب	
کسوف	solar eclipse
کسوف جزئی	partial solar eclipse
کسوف حلقوی	annular eclipse
کسوف کلی	total eclipse
کشتیدم	Puppis
کَشَف ← شلیاق	
کشند	tide
کَفّ خضیب، کَفّ‌الخَضیب	Caph
کلاهک سفید	white cap
کلاهک قطبی	polar cap
کلب اصغر	Canis Minor
کلب اکبر	Canis Major
کلف خورشیدی	Sunspot
کُلیماتور	collimator
کمربند کوئیپر	Kuiper belt
کمربندهای وان آلن	van Allen belts
کنارگذر	flyby
کناره	limb

کوانتوم	quantum
کوتولهٔ سفید	white dwarf
کوژ	convex
کوژماه	gibbous
کولاک	hurricane
کهکشان	galaxy
کهکشان بزرگ امراة‌المسلسله	Great Galaxy of Andromeda
کهکشان بیضوی	elliptic galaxy
کهکشان سی‌فرت	Seyfert galaxy
کهکشان فعال	active galaxy
کهکشان مارپیچی	spiral galaxy
کهکشان ما ← راه‌کاهکشان	
کهکشان نامنتظم	irregular galaxy
کهکشانی	galactic
کیوان ← زحل	
کیهانشناسی	cosmology

گ

گرانش	gravitation
گرانش سطحی ← شتاب گرانش سطحی	
گرداب	vortex
گردش	revolution
گردش ← حرکت انتقالی	
گردونهٔ خدمات	service module
گردونهٔ فرماندهی	command module
گردونهٔ فرود (برماه)	lunar module
گرفت	eclipse
گرفت جزیی	partial eclipse
گرفت کلی	total eclipse
گرفت ←کسوف و خسوف	
گروه محلی	local group
گره صعود ← عقدهٔ رأس	
گره نزول ← عقدهٔ ذنب	
گره ← عقده	
گسله	fault
گسیل امواج رادیویی	radio emission
گسیلش	emission
گسیل کردن، گسیلیدن	emit
گسیل مشعلی	facular emission
گشت‌کره	troposphere
گشودگی	aperture
گنبدک	dome
گونهٔ طیفی	spectral class
گویواره	globule
گیسو	coma
گیسوان برنیس	Coma Berenices

ل

لامپ تصویر	image tube
لایهٔ واگردان	reversing layer
لرزه‌سنج	seismometer
لکهٔ بزرگ سرخ	Great Red spot
لکهٔ بزرگ سفید	Great White spot

م

مِئزر ← عِناق	
مادهٔ تاریک	dark matter
مادهٔ شیمیایی	chemical
مادهٔ میان- ستاره‌ای	interstellar matter
مار باریک ← شجاع	

مارپیچی	spiral
مارپیچی‌های عادی	normal spiral
مارپیچی‌های میله‌ای	barred spiral
ماکیان ← دجاجه	
ماگما	magma
ماه تمام	full moon
ماه قمری	lunar month
ماه‌گرفتگی ← خسوف	
ماه‌لرزه	moonquake
ماهواره	artificial satellite
ماه هلالی	synodic month
ماهی طلایی	Dorado
متغیر درازدوره	long period variable
متغیر نامنظم	irregular variable
متغیر RR-شلیاقی	RR-Lyrae variable
مَتن‌الفَرَس	Markab
مثلث	Triangulum
مثلث‌بندی	triangulation
مجموعهٔ کهکشانی	cluster of galaxies
محاق	new moon
محور افقی	horizontal axis
محور عالم	celestial axis
محور قائم	vertical axis
محور قطبی	polar axis
مخروط	cone
مخروط سایه	shadow cone
مدار	orbit
مدارات	parallels of latitude
مدارات عرض جغرافیایی ← مدارات	
مدار استقرار	parking orbit
مدار بسته	closed orbit
مدارت میل	parallels of declination
مِراق	Merak
مرتبهٔ بزرگی	order of magnitude
مرحلهٔ پیش از نواختری	prenova stage
مردمک خروجی	exit pupil
مَرکَب‌الفرس ← متن‌الفرس	
مرکز انحنا	center of curvature
مریخ	Mars
مسئلهٔ سه جسم	three body problem
مشتری	Jupiter
مشعل	facula
مُعَدِّل‌النهار، استوای آسمان	celestial equator
مغرز	Megrez
مغناطیده	magnetized
مغناطیس‌سنج	magnetometer
مغناطیس‌کره	magnetosphere
مقابله	opposition
مقابلهٔ مطلوب	favorable opposition
مقارنه	conjunction
مقارنهٔ خارجی (علیا)	superior conjunction
مقارنهٔ داخلی (سفلی)	inferior conjunction
مقطع	cross section
مقیاس	scale
مقیاس سانتیگراد	centigrade scale
مقیاس مطلق	absolute scale
مُمسک‌الأعنه ← ممسک‌العِنان	
مُمسک‌العِنان	Auriga
منحنی انرژی	energy curve
منطقةالبروج	zodiac
منظومهٔ دوتایی	binary system
منظومهٔ شمسی	solar system
منکب‌الجوزا ← ابط الجوزا	
موازی‌ساز	collimator

موج اصلی	primary wave
موج ثانوی	secondary wave
موج سطحی	surface wave
موج طولی	longitudinal wave
موج عرضی	transverse wave
مهبانگ	big bang
میدان دید	field of view
میدان مغناطیسی	magnetic field
میزان	Libra
میکروسکوپ چشمک‌زن	blink microscope
میل	declination

ن

ناپیوستگی موهو	Moho discontinuity
ناجِذ	Bellatrix
ناطِح	Hamal
ناهید ← زهره	
نپتون	Neptune
نجوم	astronomy
نجوم رادیویی	radio astronomy
ندیم	companion
نسبت بازتاب	albedo
نسبت کانونی	focal ratio
نسر طایر	Altair
نسرواقع	Vega
نصف‌النهار	meridian
نصف‌النهار سماوی	celestial meridian
نظریهٔ حالت پایدار	steady state theory
نظریهٔ خرده سیارات	planetesimal theory
نظریهٔ سحابی لاپلاس	nebular theory of Laplace
نظریهٔ نسبیت	theory of relativity
نظریهٔ نسبیت عام	general theory of relativity
نظریهٔ واهلش دینامیکی	dynamical relaxation theory
نقطهٔ اعتدال ← اعتدال	
نقطهٔ اول حَمَل	First Point of Aries
نقطهٔ اول میزان	First Point of Libra
نقطهٔ شمال	north point
نگهبان شمال ← سِماک رامِح	
نمودار هرتسپرونگ- راسل	Hertzsprung-Russel diagram
نواحی HI	HI regions
نواحی HII	HII regions
نواختر	nova
نواختر بازآیند	recurrent nova
نوارهای ناپایداری	unstability strips
نوترون	neutron
نورباران	radiant
نورسپهر	photosphere
نوسان	oscillation
نوفه	noise
نونکی	Nunki
نهر	Eridanus
نهر	stream
نیروسنج	spring balance
نیروی کشندی	tidal force
نیروی گریز از مرکز	centrifugal force
نیروی محرک	driving force
نیم‌اسب ← قوس	
نیمدوره	half- cycle
نیمسایه	penumbra
نیمکره	hemisphere

و

واپاشی رادیواکتیوی	radioactive decay
واچرخه	anticyclone
واحد نجومی	astronomical unit
واروزدن، واروشدن	flip
واکنش گرما- هسته‌ای	thermonuclear reaction
واهلش	relaxation
وستا	Vesta
وقت محلی	Vocal time
و.ن. ← واحد نجومی	

ه

هذلولوی	hyperbolic
هستهٔ بیرونی	outer core
هستهٔ درونی	inner core
هستهٔ فعال کهکشانی	active galactic nucleus
هفتورنگ ← دب اکبر	
هلال	crescent
همرفتی	convection
همسانگرد	isotropic
همگرایی	convergence
همگن	homogeneous

ی

یدالجوزا ← ابط الجوزا	
یوتوپیا پلانیتیا← دشت یوتوپیا	
یونش	ionization
یونکره	ionosphere
یونیده	ionized

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A

61 cygni	۶۱-دجاجه
aberration	کجنمایی
abrasive	سایا
absolute magnitude	قدر مطلق
absolute scale	مقیاس مطلق
absolute temperature	دمای مطلق
absorber	جذب‌کننده
absorption	جذب
absorption spectrum	طیف جذبی
Acamar	ظلیم
accretion	برافزایش
Achernar	آخرالنَّهر
achromatic lens	عدسی آکروماتیک (غیررنگی)
Acrux	صلیب (ستاره)
active galactic nucleus	هستهٔ فعال کهکشانی
active galaxy	کهکشان فعال
adaptive optics	اپتیک تطابقی
aerolite	آئرولیت

agitation	انگیزش
albedo	نسبت بازتاب
Alcor	سُها
Aldebaran	دَبَران
Algol	رأس‌الغول
Alioth	جَون
Alkaid	قائد
aimanac	تقویم سالانه اختری
Alpha Centauri	آلفای قنطورس
alpha particle	ذرهٔ آلفا
Alphard	فرد
Alpheratz	سُرَّةُالفَرَس
alt-azimuth mounting	استقرار سمت-ارتفاعی
Altair	نسر طایر
altitude	ارتفاع
Andromeda	اِمرَأةُالمُسَلسَله
Angular diameter	قطر زاویه‌ای
angular magnification	بزرگ‌نمایی زاویه‌ای
angular momentum	تکانهٔ زاویه‌ای
annealing oven	اجاق تبرید
annular eclipse	کسوف حلقوی

جنوبگان	Antarctica
قلب‌العقرب	Antares
واچرخه	anticyclone
پادماده	antimatter
گشودگی	aperture
اوج خورشیدی	aphelion
اوج زمینی	apogee
قدر ظاهری	apparent magnitude
حرکت ظاهری	apparent motion
قدر ظاهری مرئی (بصری)	apparent visual magnitude
دلویها	Aquarids
دلو	Aquarius
عقاب	Aquila
قوس	arc
سِماک رامِح	Arcturus
سفینه	Argo
حَمَل	Aries
تصاعد حسابی	arithmetic progression
ماهواره	artificial satellite
عقدهٔ رأس	ascending node
سیارک	asteroid, planetoid
اخترنگار	astrograph
احکام نجوم	astrology
واحد نجومی	astronomical unit
نجوم	astronomy
اخترفیزیک	astrophysics
جذب جوی	atmospheric absorption
پخش جوی	atmospheric diffusion
جاذبه	attraction
مُمسِک‌العِنان	Auriga
شفق قطبی	aurora
شفق قطبی جنوبی	aurora australis
شفق قطبی شمالی	aurora borealis
اعتدال پائیزی	autumnal equinox
زاویهٔ سمت	azimuth

B

پراکندگی برگشتی	back scattering
تسبیح‌دانه‌های بیلی	Bailey's beads
آهنربای میله‌ای	bar magnet
مارپیچی‌های میله‌ای	barred spiral
تابه	beam
تداخل‌سنج تابه‌ای	beam interferometer
ناجِذ	Bellatrix
ابط‌الجوزا	Betelgeuse
مهبانگ	big bang
ستارهٔ دوتایی	binary star
منظومهٔ دوتایی	binary system
اجرام BL-سوسمار	BL-Lac objects
جسم سیاه	black body
دمای جسم سیاه	black body temperature
سیاه‌چاله	black hole
میکروسکوپ چشمک‌زن	blink microscope
صفحهٔ عکاسی حساس به نور آبی	blue-sensitive plate
قاعدهٔ بد	Bode's rule
عَوّا	Bootes
برکیا	breccia
طیف خط روشن	bright-line spectrum
روشنی	brightness
درخشش	brilliance
ستارهٔ دنباله‌دار بروکز	Brooks' comet

C

Cancer	سرطان (صورت فلکی)
Canis Major	کلب اکبر
Canis Minor	کلب اصغر
Canopus	سُهیل
canyon	کانیون
Capella	عَیّوق
Caph	کَفّ خَضیب، کَفُّ‌الخَضیب
Capricorn	جَدیْ
carbon cycle	سیکل کربن
Carina	حمّال
Cassini division	شکاف کاسینی
Cassiopeia	ذاتُ‌الکُرسی
Castor	رأس پیکر پیشین
catadioptric	کاتادیوپتریک (عدسی - آینه‌ای)
celestial	آسمانی
celestial	سماوی
celestial axis	محور عالم
Celestial body	جرم سماوی
celestial equator	مُعَدِّل‌النهار، استوای آسمان
celestial meridian	نصف‌النهار سماوی
celestial pole	قطب سماوی
celestial sphere	کرهٔ آسمان
Centaurus	قِنطورس
center of curvature	مرکز انحنا
centigrade scale	مقیاس سانتیگراد
centrifugal force	نیروی گریز از مرکز
cepheid	قیفاوسی
Cepheus	قیفاوس
Ceres	سرس
Cetus	قَیطُس
Chandrasehkar limit	حد چاندراشیکار
chemical	مادهٔ شیمیایی
chromatic aberration	کجنمایی رنگی
chromosphere	فام‌سپهر
chromospheric flares	شراره‌های فام‌سپهری
Chryse Planitia	دشت کرایسی
Chryse Planitia	کرایسی پلانیتیا
circumpolar	دورقطبی
cirrus-like clouds	ابرهای سیروس‌مانند
closed orbit	مدار بسته
cluster	خوشه
cluster of galaxies	مجموعهٔ کهکشانی
cluster-type cepheids	قیفاوسی‌های نوع خوشه‌ای
coating	اندودن
coefficient of thermal expansion	ضریب انبساط گرمایی
collapse	رمبش، رمبیدن
collimator	موازی‌ساز، کُلیماتور
collision hypothesis	فرضیهٔ تصادم
color temperature	دمای رنگ
color-free lens	عدسی عاری از نقص رنگی
Columba	کبوتر
coma	گیسو
Coma Berenices	گیسوان برنیس
comet	ستارهٔ دنباله‌دار
comet cloud	ابرستاره‌های دنباله‌دار
command module	گردونهٔ فرماندهی
common motion	حرکت عام (یا مشترک)
companion	ندیم
compound lens	عدسی مرکب
compressional	تراکمی
computer	رایانه

کاو	concave
مخروط	cone
مقارنه	conjunction
صورت فلکی	constellation
رانهٔ قاره‌ای	continental drift
آفرینش مدام	continuous creation
طیف پیوسته	continuous spectrum
همرفتی	convection
پوستهٔ همرفتی	convective shell
همگرایی	convergence
کوژ	convex
تاج	corona
اکلیل شمالی	Corona Borealis
تاج‌نگار	coronograph
تیغهٔ تصحیح‌کننده	corrector plate
زمینهٔ میکروموجی کیهانی	cosmic microwave background
تابش زمینهٔ میکروموجی کیهانی	cosmic microwave background radiation
کیهانشناسی	cosmology
سحابی خرچنگ	Crab Nebula
دهانه	crater
هلال	crescent
برآمدگی (موج)	crest
چگالی بحرانی	critical density
حرکت عرضی	cross motion
مقطع	cross section
شیشهٔ کراون	Crown glass
پوسته	crust
صلیب جنوبی	Crux, Southern Cross
عبور نصف‌النهاری، عبور نصف‌النهاری زبرین	culmination
جمع شونده، جمعی	cumulative
انحنا	curvature
چرخه	cycle
دور	cycle
دوره	cycle
دَجاجه	Cygnus

D

مادهٔ تاریک	dark matter
سحابی تاریک	dark nebula
طیف خط تاریک	dark-line spectrum
شبانه‌روز	day
میل	declination
ذَنَب‌الدَجاجه	Deneb
چگال	dense
عقدهٔ ذنب	descending node
تداخل نابودکننده	destructive interference
آشکارسازی	detection
قطری	diagonal
پراش	diffraction
الگوی پراش	diffraction pattern
پخش	diffusion
ضِفدَع دوم	Diphda
چشمهٔ مجزا	discrete source
تجزیهٔ نور	dispersion
رُخ‌گرد روزانه	diurnal libration
استقرار دابسونی	Dobsonian mounting
گنبدک	dome
ستارهٔ دنباله‌دار دوناتی	Donati's comet
اثر دوپلر	Doppler effect
ماهی طلایی	Dorado

double concave	دوسوکاو
double convex	دوسوکوژ
double star	ستارهٔ دوگانه
double star encounter hypothesis	فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه
driving force	نیروی محرک
Dubhe	دُبَه
duration	دوام
dynamical relaxation theory	نظریهٔ واهلش دینامیکی

E

eccentricity	خروج از مرکز
eclipse	گرفت
eclipsing binary	دوتایی گرفتی (کسوفی)
eclipsing star	ستارهٔ گرفتی
Ecliptic	دایرةالبروج
effective temperature	دمای مؤثر
efficient	کارآ
electric current	جریان الکتریکی
electric discharge	تخلیهٔ الکتریکی
electron	الکترون
elliptic galaxy	کهکشان بیضوی
elongation	دوری
emery	خاک سنباده
emission	گسیلش
emission nebula	سحابی گسیلشی
emit	گسیل کردن، گسیلیدن
encounter hypothesis	فرضیهٔ برخورد
energy	انرژی
energy curve	منحنی انرژی
energy distribution	توزیع انرژی
epoch	دوره
equatorial mounting	استقرار استوایی
equinoctial colure	دایرهٔ اعتدال
equinox	اعتدال
Eridanus	نهر
evening star	ستارهٔ شامگاهی
event horizon	افق رویداد
excitation	برانگیختگی
exit pupil	مردمک خروجی
exosphere	بیرون‌کره
expanding universe	عالم در حال انبساط
expansion of universe	انبساط عالم
extra-galactic- nebula	سحابی برون-کهکشانی
eye lens	عدسی دید
eyepiece	چشمی

F

f-number	عدد f
facula	مشعل
facular emission	گسیل مشعلی
fadeout	خاموشی
Famolhout	فَمُ‌الحوت
fault	گسله
favorable opposition	مقابلهٔ مطلوب
field lens	عدسی میدان
field of view	میدان دید
filter	صافی
final image	تصویر نهایی
first image	تصویر اول
First Point of Aries	نقطهٔ اول حَمَل

نقطهٔ اول میزان	First Point of Libra
ثوابت	fixed stars
شراره	flare
طوفان شرارهای	flare storm
درخش	flash
طیف درخشی	flash spectrum
شیشهٔ فلینت	flint glass
وارووزدن، واروشدن	flip
کنارگذر	flyby
فاصلهٔ کانونی	focal length
صفحهٔ کانونی	focal plane
نسبت کانونی	focal ratio
کانون لرزه	focus of quake
آزمون فوکو	Foucault's test
اصطکاک	friction
جبهه (هوا)	front
بدر	full moon
ماه تمام	full moon

G

کهکشانی	galactic
کهکشان	galaxy
سحابی گازی	gaseous nebula
جوزا	Gemini
جوزاتیها	Geminids
نظریهٔ نسبیت عام	general theory of relativity
زمین‌مرکزی	geocentric
شمال جغرافیایی	geographic north
تصاعد هندسی	geometric progression
ستارهٔ غول	giant star
کوژماه	gibbous
خوشهٔ کروی	globular cluster
گویواره	globule
دانه‌ای بودن	granulation
توری پراش	grating
گرانش	gravitation
تشدید گرانشی	gravitational resonace
کهکشان بزرگ امراةالمسلسله	Great Galaxy of Andromeda
سحابی بزرگ حلقه زده	Great Looped Nebula
سحابی بزرگ جبار	Great Nebula of Orion
لکهٔ بزرگ سرخ	Great Red spot
لکهٔ بزرگ سفید	Great White spot
ابر بزرگ ماژلان	Greater Magellanic Cloud
اثر گلخانه	greenhouse effect
ژیروسکوپ	gyroscope

H

نیمدوره	half- cycle
ستارهٔ دنباله‌دار هالی	Halley's comet
ناطح	Hamal
رأس	head
حفاظ گرمایی	heat shield
جرم آسمانی	heavenly body
اختلاف منظر خورشیدمرکزی	heliocentric parallax
خورلرزه‌شناسی	helioseismology
نیمکره	hemisphere
جاثی	Hercules
نمودار هرتسپرونگ- راسل	Hertzsprung-Russel diagram
نواحی HI	HI regions
جرم پنهان	hidden mass

high energy particle	ذرهٔ پرانرژی
HII regions	نواحی HII
homogeneous	همگن
horizontal axis	محور افقی
Horse-head Nebula	سحابی سراسب
Horseshoe Nebula	سحابی نعل اسب
hour circle	دایرهٔ ساعتی
Hubble constant	ثابت هابل
hurricane	کولاک
Hyades	قَلائِص
Hydra	شجاع
hyperbolic	هذلولوی

I

igneous	آذرین
image stop	دریچهٔ تصویر
image tube	لامپ تصویر
incandescence	فروزش
incandescent	فروزان
inclination	زاویهٔ میل
inferior conjunction	مقارنهٔ داخلی (سفلی)
infrared	فروسرخ
inner core	هستهٔ درونی
interference	تداخل
interferometer	تداخل‌سنج
interior planets	سیارات زیرین
interstellar hydrogen	ئیدروژن میان - ستاره‌ای
interstellar matter	مادهٔ میان- ستاره‌ای
interstellar space	فضای میان-ستاره‌ای
interval	بازه
intrinsic brightness	روشنی ذاتی
ionization	یونش
ionized	یونیده
ionized hydrogen clouds	ابرهای ئیدروژن یونیده
ionosphere	یون‌کره
iron meteorite	شهابسنگ آهنی
irregular galaxy	کهکشان نامنتظم
irregular variable	متغیر نامنظم
island universe	جهان- جزیره
isotropic	همسانگرد

J

Jovian planet	سیارهٔ مشتری‌مانند
junction	اتصال
Juno	جونو
Jupiter	مشتری

K

kinetic temperature	دمای جنبشی
Kochab	انورِ فرقدان
Kuiper belt	کمربند کوئیپر

L

latitude	عرض جغرافیایی
latitudinal libration	رُخگرد عرضی
Leo	اسد
Leo Minor	اسد اصغر
Leonids	اسدیها
Lepus	خرگوش
Lesser Magellanic Cloud	ابر کوچک ماژلان

Libra	میزان
libration	رُخ‌گرد
light year	سال نوری
light-gathering power	توان جمع‌آوری نور
limb	کناره
limb darkening	تیرگی کناره‌ای
line of position	خط وضعیت
linear diameter	قطر خطی
local group	گروه محلی
long period variable	متغیر درازدوره
long-range	بلندبرد
longitude	طول جغرافیایی
longitudinal libration	رُخ‌گرد طولی
longitudinal wave	موج طولی
luminosity	درخشندگی
luminous	درخشنده
lunar eclipse	خسوف
lunar module	گردونهٔ فرود (برماه)
lunar month	ماه قمری
Lyra	شلیاق
Lyrids	شلیاقی‌ها

M

Magellanic Clouds	ابرهای ماژلان
magma	ماگما
magnesium fluoride	فلوئورورمنیزیم
magnetic effect	اثر مغناطیسی
magnetic field	میدان مغناطیسی
magnetic storm	طوفان مغناطیسی
magnetized	مغناطیده
magnetometer	مغناطیس‌سنج
magnetosphere	مغناطیس‌کره
magnification	بزرگ‌نمایی
magnify	بزرگ‌نمودن
magnifying power	توان بزرگ‌نمایی
magnitude	قدر
main sepuence	رشتهٔ اصلی
major axis	قطر اطول
Maksutov-Bouwers telescope	تلسکوپ ماکسوتف- باورز
Manicouagan crater	دهانهٔ مانیکواگان
mantle	جبه
mare crisium	دریای بحران‌ها
mare fecundatis	دریای حاصلخیزی
mare serenitatis	دریای آرامش
maria	دریاها (در ماه)
Markab	مَتن‌الفَرَس
Mars	مریخ
mass concentration	تمرکز جرم، تراکم جرم
mean solar day	روز متوسط خورشیدی
Megrez	مغرِز
meniscus lens	عدسی هلالی
Merak	مِراق
Mercury	عُطارد
meridian	نصف‌النهار
Messier Catalogue	کاتالوگ مه‌سیه
meteor	شخانه
meteoric shower	رگبار شخانه‌ای
meteorite	شهابسنگ
meteoroid	شهابوار
micrometeoroid	خرده شهابوار
Milky Way, the Galaxy	راه‌کاهکشان
minor axis	قطر اقصر

minor planet	سیارهٔ خرد
mirror-lens telescope	تلسکوپ عدسی - آینه‌ای
Mizar	عِناق
Moho discontinuity	ناپیوستگی موهو
Monoceros	تکشاخ
monochromatic	تک‌فام
moonquake	ماه‌لرزه
morning star	ستارهٔ بامدادی
mount	پایه
mounting	استقرار
multiple star	ستارهٔ چندگانه
multiple telescope	تلسکوپ چندگانه

N

navigation	پیمایش
nebula	سحابی
nebular theory of Laplace	نظریهٔ سحابی لاپلاس
Neptune	نپتون
neural hydrogen	ئیدروژن خنثی
neutral hydrogen clouds	ابرهای ئیدروژن خنثی
neutron	نوترون
neutron star	ستارهٔ نوترونی
New General Catalogue(N.G.C.)	کاتالوگ عمومی جدید
new moon	محاق
node	عقده
noise	نوفه
non-circumpolar	غیردورقطبی
normal spiral	مارپیچی‌های عادی
north point	نقطهٔ شمال
northseeking	شمال‌جو
nova	نواختر
Nunki	نونکی
nutation	رقص محوری

O

objective	شیئی
oblate	پخ
observation	رصد
occultation	اختفا
Oort cloud	ابراورت
opaque	کدر
open cluster	خوشهٔ باز
opposition	مقابله
optical telescope	تلسکوپ نوری
optical window	دریچهٔ نوری
orbit	مدار
orbital velocity	سرعت مداری
order of magnitude	مرتبهٔ بزرگی
Orion	جبار
Orionids	جباری‌ها
oscillating universe	عالمِ نوسان‌کننده
oscillation	نوسان
outer core	هستهٔ بیرونی
output	برونداد
Owl Nebula	سحابی جغد

P

Palas	پالاس
parabolic	سهموی
paraboloid	سهمیوار

اختلاف منظر	parallax
مدارت میل	parallels of declination
مدارات	parallels of latitude
مدار استقرار	parking orbit
پارسک	parsec
گرفت جزیی	partial eclipse
خسوف جزئی	partial lunar eclipse
کسوف جزئی	partial solar eclipse
فَرَس اعظم	Pegasus
نیمسایه	penumbra
حضیض زمینی	perigee
حضیض خورشیدی	perihelion
حرکت حضیضی (خورشیدی)	Perihelionic motion
دورهٔ تناوب	period
برساوشیها	perseids
برساوش	Perseus
پریشیدگی	perturbation
پریشیده	perturbed
پریشنده	perturbing
اهلّه	phases
فِخذ	Phecda
فوبوس	phobos
فسفین	phosphine
اثر فوتوالکتریک	Photoelectric effect
تکثیرگر نور	photomultiplier
نورسپهر	photosphere
حوت	Pisces
حوت جنوبی	Piscis Austrinus
تخت	plane
سیاره	planet
حرکت سیارات	planetary motion
سحابی سیاره‌ای	planetary nebula
نظریهٔ خرده سیارات	planetesimal theory
پلاسما	plasma
خوشهٔ پروین	Pleiades
پلوتون	pluto
قراولان	Pointers
محور قطبی	polar axis
کلاهک قطبی	polar cap
جُدَی	Polaris
قطبیت	polarity
رأس پیکر پسین	Pollux
توان	power
حرکت تقدیمی	precession
تقدیم اعتدالین	precession of equinoxes
مرحلهٔ پیش از نواختری	prenova stage
موج اصلی	primary wave
طیف‌نمای منشوری	prism spectroscope
کاوه	Probe
شعرای شامی	Procyon
زبانه	prominence
انتشار	propagation
حرکت خاص	proper motion
پیش-سیاره	proto-planet
پیش-قمر	proto-satellite
پیش-ستاره	proto-star
پروتون	proton
سیکل پروتون-پروتون	proton-proton cycle
پروکسیمای قنطورس	Proxima Centauri
تپ‌اختر	pulsar
تپیدن	pulsate
ستارهٔ تپنده	pulsating star
تپش	pulsation
کشتیدم	Puppis

pyrex glass	شیشهٔ پیرکس

Q

quantum	کوانتوم
quardrature, quarter moon	تربیع
quasar	اخترنما

R

radar signal	علامت راداری
radial velocity	سرعت شعاعی
radiant	نورباران
radiation	تابش
radiation pressure	فشار تابش
radio astronomy	نجوم رادیویی
radio emission	گسیل امواج رادیویی
radio fadeout	خاموشی رادیویی
radio telescope	تلسکوپ رادیویی
radio waves	امواج رادیویی
radio window	دریچهٔ رادیویی
radioactive decay	واپاشی رادیواکتیوی
radiometer	رادیومتر
radius of curvature	شعاع انحنا
radius vector	شعاع حامل
rays	اشعه
recurrent nova	نواختر بازآیند
red giant	غول سرخ
red phosphorus	فسفر سرخ
red shift	انتقال به سرخ
red supergiant	اَبَرغول سرخ
red-sensitive plate	صفحهٔ عکاسی حساس به نور سرخ
reflecting	بازتابنده
reflecting	بازتابی
reflection nebula	سحابی بازتابی
refracting	شکستی
regolith	رگولیت
Regulus	قلب‌الاسد
relaxation	واهلش
resolving power	توان تفکیک
retina	شبکیّه
retrograde motion	حرکت رجعی
reversing layer	لایهٔ واگردان
revolution	حرکت انتقالی (زمین و سیارات)
revolution	گردش
Rigel	رِجل‌الجبّار
right ascension	بُعد
Rigil Kentaurus	رِجل قنطورس
rill	رودبستر
Ring Nebula	سحابی حلقه
ring of saturn	حلقهٔ زحل
Roche limit	حد روش
rotation	حرکت وضعی
rotaton	دوران
RR-Lyrae variable	متغیر RR-شلیاقی

S

Saggitarius	قوس
saros	ساروس
satellite	قمر
Saturn	زحل
scale	مقیاس
scanner	جستجوگر

پراکندگی	scattering
صَدر	Schedar
تلسکوپ اشمیت	Schmidt telescope
شعاع شوارتزشیلد	Schwartzschild radius
عقرب	Scorpius
سال فصلی	season year
موج ثانوی	secondary wave
لرزه‌سنج	seismometer
جذب گزینشی	selective absorption
دنبالهٔ خسوف‌ها، دنبالهٔ خسوفی	series of lunar eclipses
گردونهٔ خدمات	service module
کهکشان سی‌فرت	Seyfert galaxy
مخروط سایه	shadow cone
شُوله	Shaula
تیر شهاب،	shooting star, meteor
شبانه‌روز نجومی	sidereal day
زاویهٔ ساعتی نجومی	sidereal hour angle
دورهٔ تناوب نجومی	sidereal period
سیدریت	siderite
سیدرولیت	siderolite
بروج	signs of zodiac
شعرای یمانی	Sirius
دستگاه نمونه‌برداری خاک	soil sampler
ثابت خورشیدی	solar constant
ثابت تابش خورشیدی	solar constant of radiation
کسوف	solar eclipse
عرض خورشیدی	solar latitude
منظومهٔ شمسی	solar system
باد خورشیدی	solar wind
شکاف چشمه	source slit
فضاآزما	space probe
کاوهٔ فضایی	space probe
سرعت فضایی	space velocity
تداخل‌سنج پیسه‌ای	speckle interferometer
گونهٔ طیفی	spectral class
طیف‌نگار	spectrograph
خورطیف‌نگاشت	spectroheliogram
خورطیف‌نگار	spectroheliograph
طیف‌سنج	spectrometer
طیف‌نما	spectroscope
طیف‌نمودی	spectroscopic
دوتایی طیف‌نمودی	spectroscopic binary
طیف‌نمایی	spectroscopy
طیف	spectrum
شکاف طیف	spectrum slit
کجنمایی کروی	spherical aberration
کره‌وار	spheroid
سِماک اعزَل	Spica
اسپین	spin
مارپیچی	spiral
بازوهای مارپیچی	spiral arms
کهکشان مارپیچی	spiral galaxy
شکافتن (خطوط طیفی)	split
شکافتگی	splitting
نیروسنج	spring balance
جدول ستارگان	star catalogue
خوشهٔ ستاره‌ای	star cluster, stellar cluster
پایدار	steady
نظریهٔ حالت پایدار	steady state theory
جمعیت ستاره‌ای	stellar population
شهابسنگ سنگی	stoney meteorite
پوشکره	stratosphere
رگه	streaks, rays
نهر	stream

sunlight — آفتاب
Sunspot — کلف خورشیدی
supergiant — اَبَرغول
superior conjunction — مقارنهٔ خارجی (علیا)
superior planets — سیارات زبرین
supernova — اَبَرنواختر
surface gravity — شتاب گرانش سطحی
surface pressure — فشار سطحی
surface wave — موج سطحی
swarm — کپه
synodic month — ماه هلالی
synodic period — دورهٔ تناوب هلالی

T

tangential velocity — سرعت ظلی (یا مماسی)
Taurus — ثور
telescope — تلسکوپ
temperature — دما
terminator — حد فاصل
terrestrial planet — سیارهٔ زمین‌مانند
the kids — بزغالگان (صورت فلکی ممسک‌العنان)
the Pup — توله (شعرای یمانی)
theory of relativity — نظریهٔ نسبیت
thermocouple — ترموکوپل
thermonuclear reaction — واکنش گرما- هسته‌ای
three body problem — مسئلهٔ سه جسم
Thuban — ذیخ
tidal effects — آثار جزر و مدی
tidal force — نیروی کشندی
tidal hypothesis — فرضیهٔ کشندی
tide — جزر و مد
tide — کشند
total eclipse — کسوف کلی
total eclipse — گرفت کلی
total lunar eclipse — خسوف کلی
trade winds — بادهای بسامان
transit — عبور
transverse wave — موج عرضی
triangulation — مثلث‌بندی
Triangulum — مثلث
Trojans — سیارک‌های برجیسی
tropical year — سال اعتدالی
troposphere — گشت‌کره
trough — فرورفتگی (موج)
true motion — حرکت واقعی
Tucana — توکان
turbulence — تلاطم
twinkling — چشمک زدن
Twins, Gemini — دوپیکر

U

ultraviolet — فرابنفش
umbra — سایه
universal gravitational constant — ثابت عام‌گرانش
universal time — زمان عام
universe — جهان
universe — عالم
unstability strips — نوارهای ناپایداری
Uranus — اورانوس
Ursa Major — دب اکبر
Ursa Minor — دب اصغر
Utopia Planitia — دشت یوتوپیا

V

کمربندهای وان آلن	van Allen belts
نسرواقع	Vega
سرعت گریز	velocity of escape
زهره	Venus
محور قائم	vertical axis
دایرهٔ قائم	vertical circle
وستا	Vesta
سنبله	Virgo
دوتایی بصری	visual binary
وقت محلی	Vocal time
فرّار	volatile
فعالیت آتشفشانی	volcanic activity
گرداب	vortex

W

طول موج	wavelength
برهم‌کنش ضعیف	weak interaction
کلاهک سفید	white cap
کوتولهٔ سفید	white dwarf
قانون وین	Wien's law
دریچه	window

X

دوتایی پرتو-X	X- ray binary

Z

اثر زیمان	Zeemann effect
سمت‌الرّأس	zenith
منطقةالبروج	zodiac
برج	zodiacal constellation
حرکت منطقه‌ای	zonal motion
زُبانی جنوبی	Zubenelgenubi

نمایه

آ

آنرولیت ۳۶۱
آپولو (رب‌النوع) ۴۸
آپولو (سفینهٔ فضایی) ۲۸۳، ۲۸۶
آپولو (نام یونانی عطارد) ۲۳۷
آخرالنهر ۲۳،۵۴
آدامز، جان کاوچ ۳۴۰
آرگه‌لاندر، فریدریش ۲۲
آرمسترانگ، نیل ۲۸۵
آریادنه ۴۵
آریل ۳۳۸
آزمون فوکو ۳۹۱
۷۱۹ آلبرت ۳۱۵
آلدرین، ادوین ۲۸۵
آلفای قنطورس ← قنطورس
آلوارز، لوئیز ۳۵۸
آلوارز، والتر ۳۵۸
آمالته‌آ ۳۲۵
آنگستروم ۱۲۰
آونگ فوکو ۲۵۵
آینشتاین، آلبرت ۳
آینه
... تلسکوپ‌های بازتابی ۱۰۲، ۱۰۳، ۳۸۷، ۳۸۹
... تلکسوپ‌های رادیویی ۱۱۵
اندودن ... ۱۰۲، ۱۱۶
تراش ... ۳۸۸، ۳۸۹

الف

ابر اورت ۳۵۵
ابر بزرگ ماژلان ۸۳، ۱۳۵، ۱۵۲،۱۵۷، ۱۶۱، ۱۸۴
ابرخس ۲۰
ابرستاره‌های دنباله‌دار ۳۵۵
ابرغول ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۵، ۱۷۳، ۱۷۴
ابرغول سرخ ۱۵۰، ۱۵۵
ابر کوچک ماژلان ۸۳، ۱۵۲، ۱۸۵
ابرنواختر ۳۰، ۱۵۷،۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۹، ۱۷۴
ابرون ۳۳۸
ابرهای ماژلان ۱۵، ۱۸۴، ۱۸۸
همچنین ← ابر بزرگ ماژلان و ابر کوچک ماژلان
اپتیک تطابقی ۱۱۳
اثر دوپلر ۱۴۱، ۱۹۱، ۲۰۵، ۲۴۰
اثر زیمان ۲۰۳، ۳۹۴
اثر گلخانه ۲۵۰

اجرام آسمانی، تعریف ۶، ۷
اجرام BL - سوسمار ۱۸۹
اخترنما ۱۱۰، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱
اختفا ۳۹۴
اختلاف منظر ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۳۹۴
... خورشیدمرکزی ۳۹۴
تعریف ... ۱۳۰، ۳۹۴
روش ... ۱۳۰
ارابه‌ران (ممسک‌العنان) ۳۶، ۳۸، ۵۳
β - ... ۷۳
ارتفاع ۲۹
ارفئوس ۴۸
ارگ ۲۱۴
اروس ۳۱۵، ۳۱۷
اسپوتنیک، ماهوارهٔ ۳۶۵
استراتوسکوپ II ۳۳۶
استقرار دابسونی ۱۰۱
استقرار سمت - ارتفاعی ۱۰۰
استقرار معدل‌النهاری ۱۰۱،۱۱۶
استوا ۶۲
استوای آسمان ← معدل‌النهار
اسد ۴۰، ۴۱، ۷۴، ۷۵
γ - ... ۷۵،۷۶
R - اسد ۷۵،۱۵۱
اسد اصغر ۴۰
اسدی‌ها ۳۶۰
اطلس ۵۳
اعتدال ۴۴،۶۱،۲۵۸،۴۱۴
اعتدال بهاری ۶۱، ۲۵۸، ۲۵۹
اعتدال پاییزی ۴۴، ۲۵۸
اعتدال تیرماهی ← اعتدال پاییزی
اعتدال خریفی ← اعتدال پاییزی
اعتدال ربیعی ← اعتدال بهاری
اکلیل شمالی ۴۲،۴۴،۷۶،۷۷
α - ... ۴۵
β - ... ۴۵
R - ... ۷۷
امراةالمسلسله ۱۳، ۱۷، ۲۳، ۵۰، ۵۲
کهکشان بزرگ ... ۵۲، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷
α - ... ۵۱
ν - ... ۵۲
امریکن افه‌مریس اند نوتیکال المانک ۲۹۴
انبساط عالم ۱۹۲، ۱۹۵
انتقال به سرخ ۱۹۱، ۱۹۳، ۲۰۵، ۳۹۵
... و اخترنماها ۱۹۰، ۱۹۱
اندود آلومینیومی ۳۸۱
اندودن
... آینه‌ها ۱۰۲
... عدسی‌ها ۹۳،۹۴،۳۸۳
انرژی ستارگان ۱۶۸
انفجار ابرنواختری ۱۵۸، ۱۶۰، ۱۶۹
انفجار بزرگ، نظریهٔ ۱۴،۱۹۳
انقلاب، تعریف ۴۱۴
انور فرقدان ۲۸،۳۲
اوج خورشیدی ۲۲۱، ۲۲۲، ۳۱۰
اوج زمینی ۲۷۱،۳۶۵
اورانوس ۱۱،۲۳۵، ۳۲۰
اقمار ... ۳۳۸
کشف ... ۳۴۳
اورت، یان ۳۵۵
اومبریل ۳۳۸
ئیدروژن ۱۴۴
امواج رادیویی گسیل شده از ... ۱۶۴، ۱۷۰
طیف ... ۱۲۲، ۱۴۴

ایکاروس ۳۱۵، ۳۱۶

ب

باد خورشیدی ۲۱۱، ۲۵۲، ۳۹۵
بارنارد، ادوارد امرسن ۱۴۲، ۳۲۵
باکوس ۴۵
برائه، تیخو ۲، ۳۰، ۱۵۷
برساوش ۵۰، ۵۲، ۵۳
برساوشی‌ها ۳۶۰
بُزبان← عیوق
بزرگ‌نمایی
فرمول ... ۹۹، ۱۰۰
... زاویه‌ای ۸۸، ۹۲، ۹۸
بزغالگان ۳۸
بُعد ۶۵، ۱۶۰
بیرون‌کره ۲۶۵، ۲۶۷

پ

پاتروکلوس ۳۱۵
پارسک ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۴۷، ۳۹۸
پالاس ۳۱۳، ۳۱۵
پراش ۹۶، ۱۳۴، ۴۰۷
پراکندگی جوی ۲۶۸
پروتئوس ۳۴۱
پروکسیمای قنطورس ← قنطورس
پروین ← خوشهٔ پروین
پلاسما ۲۱۰، ۳۲۵، ۳۹۶
پلوتون ۱۱، ۱۱۴، ۲۲۲، ۳۴۲، ۳۴۶، ۳۷۰
دورهٔ تناوب ... ۲۲۲، ۳۴۲
کشف ... ۳۴۳، ۳۵۴، ۳۷۷
... و نپتون ۱۱، ۵۲، ۳۱۴، ۳۳۸
پوشکره ۲۶۵، ۲۶۶
پیاتزی، جوسپه ۳۱۴
پیش‌ستاره ۳۹۶
پیکرینگ، و. هـ ۳۴۳
پیکسل ۱۱۵
پیمایش ۶۱
ستارهٔ قطبی و ... ۲۸
ستاره‌های مرجع در ... ۲۸

ت

تابش فروسرخ ۱۱۳، ۱۲۲، ۱۵۰، ۲۵۱، ۳۰۸
تاج ۴۴، ۷۶، ۱۹۸، ۲۱۳، ۲۹۸
تامباو،کلاید ۳۰۳
تپ‌اختر ۱۵۹، ۱۶۰، ۳۹۷، ۴۰۴
تتیس ۳۲۹،۳۳۳
تداخل‌سنج
... رادیویی ۱۱۷، ۱۱۸
... مایکلسن ۱۳۴
... و اندازه ستاره‌ها ۱۳۴
تداخل‌سنجی پیسه‌ای ۳۴۳
تداخل‌سنجی نجومی ۱۰۷، ۱۳۴، ۱۳۵
تراکم جرمی ۲۸۳
تربیع ۲۷۳، ۳۰۷، ۳۹۷
تریتون ۳۴۱
تزئوس ۴۵
تسبیح دانه‌های بیلی ۲۹۸
تشدید گرانشی ۳۱۶، ۳۳۲
تصویر اول ۸۸
تصویر نهائی ۸۸
تقدیم اعتدالین ۶۱، ۲۵۹، ۳۱۱

تکانهٔ زاویه‌ای ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۳، ۳۷٦
تلسکوپ ۲، ۷، ۸، ۴٦، ٦۹، ۷۰، ۹۴ تا ۱۱۳
... ۵ متری ۸۷، ۱۰۸، ۱۱۱، ۱۹۳
... ٦ متری ۱۰۰،۲۵۵
... بازتابی ۷۰، ۱۰۲، ۱۰۴،۱۱۱
... دست‌ساخت ۳۸۱، ۳۸۷
... رادیویی ۱۱۵، ۱۱۷
... شکستی ۷۰، ۸۸، ۱۰۲، ۳۸۱
انواع ... ۷۰، ۸۸
تلسکوپ اشمیت ۱۰۴، ۱۰۵
تلسکوپ رادیویی ۱۱۵، ۱۱۷
مطالعه کهکشان با ... ۱۸۲
... آره‌سی‌بو ۱۱٦، ۱۱۷
... گرین بنک ۱۱٦
تلسکوپ عدسی- آینه‌ای (کاتا دیوپتریک) ۱۰۴
تلسکوپ فضایی هابل ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۹۱
تلسکوپ ماکسوتف- باورز ۱۰۵
تلسکوپ‌های کک ۱۰۱، ۱۱۱
توان بزرگ‌نمایی ← بزرگ‌نمایی
توان تفکیک ۹٦، ۹۷، ۱۰۸، ۱۱۳
توان جمع‌آوری نور ۹۴، ۹۵
توری پراش ۱۲۱
توکان ۱۸۵
تیتان ۳۲۹، ۳۳۰
تیتانیا ۳۳۸
تیر شهاب ۴۰٦
تیغهٔ تصحیح‌کننده ۱۰۵

ث

ثابت تابش خورشیدی ۱٦۷
ثابت خورشیدی ← ثابت تابش خورشیدی
ثابت هابل ۱۹۲، ۳۹۸، ۴۰۸
ثوابت ٦، ۱۴۰، ۲۷۵
ثور ۳۸، ۵۰، ۸۲، ۱۵۹، ۴۱۳
سحابی خرچنگ در ... ۱۵۹، ۱٦۰
α - ... ← دبران
β - ... ۳۸

ج

جاثی ۴۰،۴۲،۴۷، ۷۷، ۷۸
α - ... ۷۷
γ - ... ۷۷
δ - ... ۷۷
φ - ... ۷۷
جبار ۱۵، ۲۳، ۳٦، ۳۸، ۴۰، ۵۲
سحابی ... ۳۷، ۷۳، ۱٦۴
δ - ... ۷۳
θ - ... ۳۷، ۷۳
جباری‌ها ۳٦۰
جبهه (هوا) ۲٦٦
جدی (ستارهٔ قطبی) ۲۴، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۵۱، ۵۳، ۲٦۰
... و تغییر قطب آسمان ۲۹، ۳۲، ۲٦۰
قدر ... ۲۰، ۲۱
جذب جوی ۲٦۸
جزء تصویر ← پیکسل
جزرومد ۲۲۴، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۴۰۹
جسم سیاه ۱۲۵، ۱۲۸
جو ← زمین
جوزا ۲۳، ۳۳، ۳۸، ۳۹، ٦٦، ۴۱۳
α - ... ← رأس پیکر پیشین
β - ... ۳۲، ۳۸
γ - ... ۳۳

جوزایی‌ها ۳٦۰
جوزهر ← عقده
جون ۱۸، ۲۰
جونو ۳۱۳، ۳۱۵
جهان ۱، ۳، ٦، ۱۰، ۱۲، ۱۴
همچنین ← عالم
... در حال انبساط ۱۹۲، ۱۹۳
اندازه ... ۱۴
تاریخ ... ۱۴، ۱۵
نظریه‌های ... ۱۹۲، ۱۹۴
جهان- جزیره ۱۸۴
جهان نوسان‌کننده ۱۹۳، ۱۹۴

چ

چشم
توان تفکیک ... ۹۴، ۹٦
«رؤیت» با ... ٦، ۲۰،۷۴
چشمک زدن ۷، ۹۹، ۲۳۷، ۲٦۹، ۴۱۱
چشمهٔ پرتو X ۱٦۰، ۱۸۹
چشمهٔ مجزا ۴۲۱
چشمه‌های رادیویی شبه اختری ← اخترنما
چشـــمی ۷۰، ۷۱، ۸۸، ۸۹، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۱۰۳، ۱۲۰، ۳۸۸
... ارتوسکوپیک ۹۲، ۹۳
... تلسکوپ‌های دست‌ساخت ۹۳،۳۸۴
... رمزدن ۹۳
... کل‌نر ۹۲، ۹۳، ۳۸۴، ۳۸۷
... هویگنسی ۹۲، ۳۸۴

ح

چگالی بحرانی ۱۹۵، ۱۹٦
حد چاندراشیکار ۱۵۸، ۳۹۸
حد روش ۳۳۳، ۳۵٦
حرکت تقدیمی ۴۷، ٦۱، ۲٦۰، ۲٦۱، ۳۹۹
... عطارد ۲۴۲
حرکت خاص ۱۴۲، ۱۴۳
حرکت رجعی سیارات ۲۲۵، ۲۲٦، ۳۳۷، ۳۹۹
حرکت عرضی ۱۴۰،۱۴۲
حضیض خورشیدی ۲۲۱، ۳۰۹، ۳۱۲، ۳۴۵، ۳۵۱
حضیض زمینی ۲۷۰، ۲۷۲، ۳٦۵، ۳۹۹
حمال ۲۳، ۵۵
حمل ٦۴، ۲۵۷، ۴۰۰،۴۱۳
حوت ۲۵۷
حوت جنوبی ۴۹، ۵۰

خ

خرده شهاب‌وار ۲۸۵
خرس بزرگ ← دب اکبر
خرس کوچک ← دب اصغر
خروج از مرکز ۲۲۰، ۲۲۹، ۲٦۹، ۳۰۱، ۳۱۰، ۳۱۷، ۳۷۷
خسوف ۱، ۲۸۱، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۵، ۲۹۷
خورشید
آینده ... ۳۷۸
انرژی ... ۱٦۷، ۲۰۷، ۲۵۹، ۲٦٦
توصیف ... ۱۹۸
دوران ... ۲۰۵
فواصل سیارات از ... ۲۲۸، ۲۳۵، ۲۴۳، ۲۵۳، ۳۰۱، ۳۱۳، ۳۱۷، ۳۲۷، ۳۳۴، ۳۳۸، ۳۴۲

قدر ظاهری ... ۲۲
همچنین ← منظومهٔ شمسی
خورطیف‌نگار ۲۱۴، ۲۱۵
خوشه ۴۳، ۴۶، ۵۳، ۵۴، ۷۷، ۸۲، ۱۷۹، ۴۰۰
همچنین ← خوشهٔ کروی
خوشهٔ M ۱۳ ۴۶، ۷۷، ۱۷۹
خوشهٔ M۲۲ ۷۹، ۸۰
خوشهٔ M۳۵ ۷۳
خوشهٔ M۴۱ ۷۳
خوشهٔ M۸۰ ۷۶
خوشهٔ باز ۵۴، ۸۱، ۴۰۰
خوشهٔ پروین ۵۳، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۱۶۴
خوشهٔ کروی ۴۶، ۴۷، ۷۷، ۷۸، ۱۷۹
مطالعهٔ کهکشان به‌کمک ... ۱۷۹

د

دانشگاه ایالتی نیویورک در استونی‌بروک ۳۳۴
دانشگاه‌کمبریج ۱۶۰، ۱۹۱، ۳۴۰
دانشگاه هاروارد ۱۳۶، ۳۴۳
دانه‌های خورشید ۲۰۲
دایرهٔ اعتدال ۶۴، ۴۰۰
دایرةالبروج ۱، ۴۴، ۱۹۷، ۲۲۹، ۲۴۴، ۲۵۷
دایرهٔ ساعتی ۶۴، ۶۵، ۳۹۵، ۴۰۰، ۴۰۳
دب اصغر ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۴۸، ۶۶، ۶۷
α - ... ← جدی
β - ... ← انور فرقدان
دب اکبر ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۳۰، ۶۶، ۶۷
دبران ۲۳، ۵۰، ۵۳، ۵۴
دبه ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۴، ۲۸، ۴۱، ۶۵
دجاجه ۴۷، ۴۸، ۷۹، ۱۲۷، ۱۵۱، ۱۶۰، ۱۸۰، ۱۸۹
β - ... ۷۹
χ - ... ۱۲۷
۶۱- ... ۴۸
A ... ۱۸۹
درخشندگی ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۴۶، ۱۴۸
تعریف ... ۱۴۷، ۱۴۹
دریاهای ماه ۲۷۷، ۲۷۹، ۲۸۰
دریچهٔ تصویر ۳۸۷
دریچهٔ رادیویی ۱۱۶، ۴۰۱
دریچهٔ نورهای اضافی ۳۸۷
دلو ۵۹، ۲۵۷
cy - ... ۱۵۲
دلویها ۳۶۰
دما ۱۰۸، ۱۱۹، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۳۵، ۱۴۴، ۱۶۹، ۱۹۷، ۲۰۰، ۲۳۶، ۲۴۳، ۳۰۲، ۳۱۸، ۳۲۷، ۳۴۲
دمای جنبشی ۲۱۴
دمای رنگ ۱۲۸
دمای مطلق ۱۲۷، ۱۲۸
دمای مؤثر ۱۲۸، ۱۳۶
دوپیکر ← جوزا
دوتایی پرتو- X ۱۸۵
دوتایی طیف‌نمودی ۷۰، ۱۳۸، ۴۰۱
دوتایی گرفتی ۷۳، ۸۲، ۱۳۸، ۴۰۱
دوربین CCD ۲۱، ۱۱۴، ۱۱۵
دورهٔ تناوب نجومی ۲۲۶، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱
دورهٔ تناوب هلالی ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۹، ۲۳۶، ۴۰۲
دوری ۲۳۷، ۴۰۱
دهانهٔ مانیکواگان ۳۵۸
دهانه‌ها
...ی زمین ۳۵۸
...ی ماه ۲۷۷، ۳۰۵
...ی مریخ ۳۰۵
دین ۲۲۴

دیون ۳۲۹، ۳۳۳

ذ

ذات‌الکرسی ۱۸، ۲۳، ۳۰، ۴۲، ۵۰، ٦٦، ۷۲، ۷۳، ۱۵۷، ۴۰۷
α - ... ۷۲
β - ... ۵۱
η - ... ۷۲
ι - ... ۷۲
σ - ... ۷۲
ذنب‌الدجاجه ۴۸
ذیخ ۳۱، ۳۲

ر

رئا ۳۲۹، ۳۳۳
رابطه جرم- انرژی آینشتاین ۱٦۸، ۱۷۱
رادیوتلسکوپ آره‌سی‌بو ۱۱۷
رأس‌الغول ۵۲، ۵۳، ۱۳۹
رأس پیکر پسین ۳۸،۳۹، ٦۴
رأس پیکر پیشین ۲۳، ۳۸، ۳۹، ۷۴
راسل، هنری‌نوریس ۳۷۲
راه شیری ← راه‌کاهکشان
راه‌کاهکشان ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۴۸، ۷۰، ۱۵۷، ۱۷۷، ۱۸۰، ۱۸۴، ۴۰۳
اندازه و ابعاد ... ۱۷۷، ۱۷۹
توصیف ... ۱۷۷، ۱۸۱
دوران ... ۱۸۱
شمارهٔ ستارگان ... ۱۷۹
... به چشم برهنه ۱۴
رایانه ۱۰۸
رجل‌الجبار ۲۳، ۳٦، ۳۷، ۵۴، ٦۴، ٦۵، ۷۳
رجل قنطورس ۵٦
رخ‌گرد ۲۷٦، ۲۷۷
رشتهٔ اصلی ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۵، ۱٦۹، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۴۰۲
رصدخانهٔ خورشیدی و هلیوسفری (SOHO) ۲۱٦
رصدخانهٔ سلطنتی ۲۰۳
رصدخانهٔ فلگستاف ۳۴۳
رصدخانهٔ کالج هاروارد ۱۴۳، ۱۵۲
رصدخانهٔ لاول ۳۰۲
رصدخانهٔ ملی نجوم رادیویی ۱٦۰
رصدخانهٔ مونت پالومار ۱۰۵، ۱۰۷، ۱۱۰، ۱۱۱
رصدخانهٔ مونت ویلسون ۱۳۴
رصدخانهٔ یرکیز ۷۰
رقص محوری ۲۵۴، ۲٦۱، ۲٦۲
رگبار شخانه‌ای ۳۵۷، ۳٦۰
رگولیت ۲۸۳
رگه‌های ماه ۲۳٦، ۲۷۷، ۲۸۰
رودبسترها (ماه) ۲۷۷، ۳۰۵
روز متوسط خورشیدی ۲۳۵، ۲۵۴
روش کاسگرن ۱۰۳
روشنی
... ظاهری ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۳۸، ۵۲، ۷۲، ۹۴، ۱۳۸، ۱۹۸، ۴۰۸
... متغیر ۳۱، ۳۰۲

ز

زاویهٔ ساعتی ٦۱، ٦۵
تعریف ... ۴۰۳
... نجومی ٦۱،٦۲، ٦۵، ٦٦، ۱۰۲، ۴۰۳
زبانه‌های خورشید ۱۹۸، ۲۰۹، ۲۱۰

زبانی جنوبی ۲۳
زحل ۱۱، ۱۲، ۲۲٦، ۲۲۷، ۳۱۴، ۳۲۰، ۳۲۷ تا ۳۳۳
اقمار ... ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱
دوره‌های تناوب ... ۲۲٦، ۲۲۷، ۳۲۷
زرافه ۲۷
زمان عام ۴۹۳
زمان‌گرینویچ ۴۰۳
زمین ۲۵۱ تا ۲٦۹
جو ... ۲٦۵، ۲٦۸
شکست نور در جو ... ۱۳۱، ۲٦۹
فاصلهٔ خورشید از ... ۱۹۸
فاصلهٔ سیارات از ... ۲۳۰
ماهواره‌های ... ۲۵٦، ۲٦۳، ۲٦۵، ۳٦٦
زمین‌لرزه ۲٦۱، ۲٦۲
زهره ۱۱، ۲۲۱، ۲۲۷، ۲۳۰، ۲۳۲، ۲۴۳ تا ۲۵۳، ۳۱۴، ۳۴۹، ۳۷٦، ۴۰۴، ۴۱٦

ژ

ژوپیتر ۱۹، ۳۷، ۳۸، ۴۸، ۴۹

س

ساروس ۲۹۳، ۴۰۳
سال اعتدالی ۲۵۷، ۲۵۹، ۴۰۳
سال نجومی ۲۵۷، ۲۵۹
سال نوری ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۳٦، ۴۱، ۴۳، ۴۷، ۵٦، ۷۸، ۸۳، ۱۱۰، ۱۳۲
سایه ۲۰۲، ۳۹۲
ستارهٔ AC+۷۰°۸۲۴۷ ۱۳۳
ستارهٔ BD+۴°۴۰۴۸ ۱۳٦
ستارهٔ CD-۲۹°۲۲۷۷ ۱۴۲
ستارهٔ HD٦۹۸ ۱۳٦
ستارهٔ بارنارد ۱۳۳، ۱۴۲
ستارهٔ بامدادی ۴۰۴
ستارهٔ تپنده ۱۵۱، ۴۰۴
همچنین ← ستارهٔ متغیر
ستارهٔ تیخو ۳۰
ستارهٔ چندگانه ۷۳، ۷۹
ستارهٔ دنباله‌دار ایکیا- سکی ۳۵۰
ستارهٔ دنباله‌دار بروکس ۳۵۴
ستارهٔ دنباله‌دار بورلی ۳۵۲
ستارهٔ دنباله‌دار تمپل ۳۵۲
ستارهٔ دنباله‌دار دوناتی ۳۵۰
ستارهٔ دنباله‌دار کهوتک ۳۴۹
ستارهٔ دنباله‌دار وست ۳۴۹
ستارهٔ دنباله‌دار هالی ۲۲۱، ۳۴۸، ۳۵۰، ۳۵۳
خروج از مرکز ... ۲۲۱
سرعت ... ۲۲۱
ستارهٔ دنباله‌دار هیل‌باپ ۳۴۹، ۳۵۰
ستارهٔ دوتایی ۳۹، ٦۹، ۷۲، ۷۷، ۱۸۵، ۴۰۱، ۴۰۴
... بصری ۷۵، ۷۷، ۱۳۷
... پرتو-X ۱۸۵
تعریف ... ۳۹، ٦۹، ۴۰۴
ستارهٔ دوگانه بصری ۷۵
ستارهٔ SV - روباهک ۱۵۲
ستارهٔ شامگاهی ۴۰۴
ستارهٔ صباحی ← ستارهٔ بامدادی
ستارهٔ غول
... آبی ۱٦۰
... سرخ ۱۵۰، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۷
تعریف ... ۱۴۹
ستارهٔ متغیر ۷۳، ۷۵، ۷٦، ۷۷، ۸۰، ۱۲۷، ۱۵۱، ۴۱۳
همچنین ← قیفاوسی‌ها

ستارهٔ مسایی ← ستارهٔ شامگاهی
ستارهٔ نوترونی ۱۳۳، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱٦۰، ۱۷۴، ۱۸۵، ۳۹۸، ۴۰۴
ستاره‌های دنباله‌دار ۱۰، ۳۵۰، ۳۷۷
تشکیل ... ۳۷۷
تعداد ... ۹، ۳۷۷
تعریف ... ۹
مدار ... ۹، ۲۲۱، ۳۵۳، ۳۵۴
ستاره‌های دورقطبی ۷۲
... جنوبی ۵۴
... شمالی ۲۷، ۷۲
تعریف ... ۲۷
ستاره‌های صغار ← سیارک
ستاره‌های غیردورقطبی ۳۴
ستاره‌های فروسرخ ۱۷۰
ستاره‌های کوتوله
... سرخ ۱۴۹
... سفید ۱۳۹، ۱۴۹، ۱۵۰
تعریف ... ۱۴۹
سحابی ٦، ۱۴، ۱۵، ۳۷، ۷۰، ۷۲، ۱٦۳، ۱٦٦
... بازتابی ۸۱، ۱٦۴
... بزرگ حلقه‌زده ۱۸۴
... تاریک ۱۵، ۱٦۴
... جبار ۱۵، ۳۷، ۷۳، ۱٦۴
... جغد ۷۲
... حلقه ۷۹، ۸۱، ۱٦۴
... خرچنگ ۱۵۹، ۱٦۰
... سر اسب ۱۵، ۱٦۴
... سیاره‌ای ۸۱، ۱٦۴، ۴۰۵
...گسیلشی ۱۵، ۱٦۴
... مارپیچی ۴۰۵
... نعل اسب ۷۹، ۸۰
... های برون‌کهکشانی ۱۸۴
بزرگ‌ترین ...گازی ۱۸۴
تعریف ... ٦، ۷۰، ۱٦۳، ۴۰۵
دشت ... ها ۷۵
سدنا ۳۵۵
سرس ۸، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵
سرطان ۲۵۷
سرعت دورشدن کهکشان‌ها ۱۸۵، ۱۹۱
سرعت گریز ۲۳۲، ۲۳٦، ۲۴۱، ۲۵۳، ۳۰۲، ۳۱۸، ۳۲۷، ۳۳۵، ۳۳۹، ۳۴۲
سرعت مداری ۱۸۱، ۲۲۱، ۲۳۰، ۲۳٦
سرة‌الفرس ۲۳، ۵۰، ۵۱، ۵۲
سفینه ۵۵
سفینهٔ فضایی
... اکسپلورر ۲٦۴، ۲٦۵
... پایونیر ۲۴۷، ۲٦۴، ۳۲۰، ۳۲۴، ۳۲۹، ۳۳۲
... پت‌فایندر ۳۰٦
... دیپ اسپیس ۳۵۲
... دیپ ایمپکت ۳۵۲
... رینجر ۲۸۲، ۲۸۴
... سرویور ۲۸۲، ۳۹٦، ۴۰۵
...کاسینی ۳۲۹
...کلمنتین ۲۸۸
...گالیله ←گالیله (سفینه)
... لونار آربیتر ۲۸۲، ۳۹٦
... لونار پراسپکتور ۲۸۸
... لونیک ۳ ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۸۲
... مارینر ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۱، ۲۴۲، ۳۰۸، ۳۹٦، ۴۱۲
... ماژلان ۲۴۷
... میوزز C ۳۱۷
... نی‌یر ۳۱۷

... وایکینگ ۳۰۶، ۳۰۸، ۳۱۱
... وگا ۲۴۷
... ونرا ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۵۰، ۴۱۶
... ویه‌جر ۳۲۳، ۳۲۵، ۳۲۹، ۳۳۳، ۳۳۸
سماک اعزل ۴۳، ۴۴، ۶۴
سماک رامح ۲۳، ۴۳، ۴۴، ۶۵، ۱۳۵، ۱۵۰
سمت‌الرأس ۲۹، ۳۵، ۳۴۹، ۳۵۰
سنبله ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۷۵، ۲۵۷
γ - ... ۷۶
سها ۱۸
سهیل ۲۳، ۵۵، ۱۴۸
سیارات
اطلاعات اساسی دربارهٔ ... ۲۲۸
تعریف ... ۷، ۸
حرکت رجعی ... ۲۲۵، ۲۲۶، ۳۳۷، ۳۹۹
دوره‌های تناوب ... ۲۲۲، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۴۳، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۲۷، ۳۳۹، ۳۴۲
قانون نیوتن و ... ۲۲۳
قوانین کپلر دربارهٔ ... ۱۹۹، ۲۱۹، ۲۲۱، ۲۲۳
... زبرین و زیرین ۲۲۷
سیارک ۲۳۲، ۳۱۳ تا ۳۱۷
تعداد ...ها ۳۱۳، ۳۱۵، ۳۱۶
تعریف ... ۸، ۴۰۵
منشاء ...ها ۳۷۷
سیارک‌های برجیسی ۳۱۶
سیاه‌چاله ۱۵۸، ۱۶۰، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۸۹، ۱۹۱، ۳۹۵، ۴۰۶
سیاهگوش ۲۷
سیدرولیت ۳۶۱
سیدریت ۳۶۱
سیکل پروتون- پروتون ۱۷۲
سیکل کربن ۱۷۲

ش

شاتل فضایی ۱۱۳
شارن ۳۴۵
شبانه‌روز نجومی ۲۴، ۲۵۴
شتاب گرانش سطحی، تعیین ۲۰۱، ۲۳۶، ۲۴۱
شجاع ۴۰، ۴۱
شخانه ۹، ۳۴۷، ۳۵۷، ۳۵۹
نورباران ...ها ۳۶۰، ۴۱۵
شراره‌های خورشید ۲۰۹، ۲۱۱، ۲۶۷
شراره‌های فام‌سپهری ۱۹۸، ۲۰۹، ۲۱۰
شعاع تصویر، فرمول ۳۸۶
شعرای شامی ۲۳، ۳۹، ۴۰
شعرای یمانی ۲۲، ۲۳، ۳۲، ۴۰، ۴۸، ۷۴، ۱۳۳، ۱۳۶، ۱۴۳، ۱۸۴، ۳۱۹
شفق قطبی ۴۰۶
... جنوبی ۴۰۶
... شمالی ۴۰۶
شکاف طیف ۲۱۵
شکاف کاسینی ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲
شکست نور ۱۳۱، ۲۶۸، ۴۰۶
... بر اثر جو ۱۳۱
شلیاق ۴۷، ۷۷، ۸۲، ۱۵۴، ۱۶۴
β - ... ۴۸، ۷۸
ج - ... ۷۹
ع - ... ۷۹
شلیاقی‌ها ۳۶۰
RR - ... ۱۲۹، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۸۱، ۴۱۲
شمال جغرافیائی ۲۹
شوله ۲۳
شومیکر، یوجین ۳۳۳
شهاب‌سنگ آریزونا ۳۵۸، ۳۵۹

شهاب‌سنگ سیبری ۳۵۸
شهابوار ۹، ۱۱، ۲۸۵، ۳۴۷
انواع ... ۳۵۶، ۳۵۷، ۴۰۶، ۴۰۷
تعریف ... ۳۵۶، ۴۰۶
شیئی
... آکروماتیک ۹۰، ۹۱، ۱۲۰، ۳۸۲، ۳۸۳، ۴۰۷
... دست‌ساخت ۳۸۷
تعریف ... ۳۸۳
شیشهٔ پیرکس ۱۰۸، ۳۸۸
شیشهٔ فلینت ۹۰، ۹۳
شیشهٔ کراون ۹۰، ۹۱، ۹۳

ص

صدر ۲، ۲۳
صفحهٔ کانونی ۸۸، ۱۰۳، ۱۰۵، ۳۸۸
صفحهٔ کهکشان ۱۸۲
صلیب (ستاره) ۲۳، ۴۸، ۵۴
صلیب شمالی ← دجاجه
صلیب یا صلیب جنوبی ۵۴، ۵۵، ۵۶
α - ... ← صلیب (ستاره)
صورت‌های فلکی ۱۷، ۲۶، ۳۰، ۴۶، ۸۳، ۳۹۹
عده ... ۱۷
... منطقةالبروج ۴۵، ۲۵۷، ۳۱۴، ۳۱۹

ض

ضفدع دوم ۲۳

ط

طوفان مغناطیسی ۲۱۱، ۲۱۲
طول جغرافیائی ۶۲، ۶۴، ۲۹۵، ۳۹۶، ۴۰۳
طیف پیوسته ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۴، ۲۰۷، ۲۰۸
طیف جذبی ۱۲۳، ۱۲۴
طیف خط تاریک ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۶
طیف خط روشن ۱۲۲، ۱۲۵
طیف سدیم ۱۲۳، ۱۲۴
طیف قوس کربن ۱۲۲
طیف نئون ۱۲۳
طیف‌نگار ۴۰۰، ۴۰۷
طیف‌نگاری ۳۲۲
طیف‌نما ۱۱۹
طیف‌نما با توری پراش ۱۲۱
طیف‌نمای منشوری ۱۱۹، ۱۲۱
طیف‌نمایی ۱۱۹، ۱۲۵، ۱۳۸
اثر زیمان در ... ۲۰۳

ظ

ظلیم ۲۳

ع

عالم ۶، ۱۳، ۱۴، ۱۹۲ تا ۱۹۶
همچنین ← جهان
انبساط... ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۵
مادهٔ تاریک در... ۱۹۵، ۱۹۶
... نوسان‌کننده ۱۹۴
عبور ۲۳۸، ۲۴۹
عبور نصف‌النهاری یا عبور نصف‌النهاری زبرین ۴۰۷
عدد f ← نسبت کانونی
عدسی آپوکرومات ۹۱
عدسی آکروماتیک ۹۰، ۹۱، ۴۰۷

عدسی دید ۹۱، ۹۲، ۹۳
عدسی غیر رنگی ۳۸۳
عدسی میدان ۹۱، ۹۲، ۳۸٦، ۳۸۷
عدسی‌ها ۳۴، ۸۹، ۹۰، ۹۳، ۳۸۳
... ی آکروماتیک ۹۰، ۹۱، ۴۰۷
... ی چشمی ۸۸
... ی هلالی ۱۰۵
... ی همگرا و واگرا ۸۹، ۹۰
اندودن ... ۹۳، ۹۴، ۳۹۲
فاصلهٔ کانونی ... ۸۷، ۸۸، ۹۱ تا ۹۳، ۹۹، ۳۸۲، ۳۹۰، ۳۹۲
کج‌نمائی ... ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۳، ۱۰۴، ۴۰۹
عرض جغرافیائی ۲۹، ٦۲
اثر ... بر منظرهٔ آسمان ٦۷
تعیین ... ۲۹
مدارات ... ٦۲، ٦۴
عطارد ۱۱، ۲۲۲، ۲۳۳، ۲۳۵ تا ۲۴۲، ۳۰۷، ۳۷٦، ۴۰۴
دورهٔ تناوب ... ۲۳٦، ۲۳۹
رصدهای فضایی ... ۲۳۷، ۲۳۸
عقاب ۴۷، ۴۹، ۸۰، ۱۵۵
α - ... ← نسر طائر
η - ... ۸۰
عقده ۲۴۹، ۲۹۱، ۲۹۳، ۴۰۸
عقرب ۲۳، ۳۴، ۳۷، ۴۵، ۷٦
α - ... ← قلب‌العقرب
β - ... ۷٦
ν - ... ۷۷
عکسبرداری با تلسکوپ
... از سحابی بزرگ امراة‌المسلسله ۱۸٦
... از مریخ ۳۰۷
... از نواحی وسیع آسمان ۱۰۵
... و تعیین حرکت خاص ۱۴۳
... و تعیین حرکت شعاعی ۱۴۱، ۱۴۳
... و لامپ تصویر یا CCD ۲۱، ۱۰٦، ۱۸۷
عکسبرداری با سفینهٔ فضائی
... از زحل ۳۲۹، ۳۳۲
... از زهره ۲۴۷
...از عطارد ۲۳۷
... از ماه ۲۷۷، ۲۷۹، ۲۸۲
... از مریخ ۳۰۴
... از مشتری ۳۲۰
عناصر
پیدایش ... ۱٦۹، ۱۷۰
طیف ... ۱۲۵
... لایه واگردان خورشید ۲۰۸، ۴۱۱
عناق ۱۸، ۲۴، ۷۲
عوا ۲۳، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴٦، ۷۵، ۷٦
α - ... ۴۳
δ - ... ۷۵
ε - ... ۷۵
ι - ... ۷۵
κ - ... ۷۵
π - ... ۷۵
ξ - ... ۷۵
عیوق ۲۳، ۳۸، ٦۷، ۷۳، ۱۳۸، ۱۴۴، ۱۴۸، ۱۴۹

غ

غول ← ستارهٔ غول
غول سرخ ۱۵۷، ۱٦۹، ۳۷۸، ۴۰۸

ف

فاصله

تعیین ... ۱۲۹ تا ۱۳۱، ۲۲۸، ۲۳۰
تعیین ... به‌کمک قیفاوسی‌ها ۳۱، ۱۵۳
فاصلهٔ کانونی ۸۷، ۸۸، ۹۱، ۹۸، ۹۹، ۳۸۲، ۳۸۴، ۳۹۰
فام سپهر ۱۹۸، ۲۰۸، ۲۰۹
فخذ ۱۸، ۲۴
فرد ۴۱
فرس اعظم ۲۳، ۴۷، ۵۱، ۸۰
ε - ... ۸۰
فرضیهٔ برخورد ستارهٔ دوگانه ۳۷۲
فرضیهٔ پیش‌سیاره
فرضیهٔ تصادم ۳۶۹ تا ۳۷۲
فرضیهٔ تلاطم ۳۶۹، ۳۷۳، ۳۷۴
فرضیهٔ سحابی ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۳
فرضیهٔ کشندی ۳۶۹
فرضیهٔ نیروی گریزازمرکز ۳۶۹
فضای میان- ستاره‌ای ۱۶۳، ۱۶۶، ۴۲۹، ۴۴۲
فلوئورسانس ۱۶۴
فم‌الحوت ۵۰، ۴۲۹، ۴۴۰
فوب ۳۳۳
فوبوس ۲۳۲، ۳۱۱، ۴۲۹، ۴۴۵
فوکو، ژ. ب. ل. ۲۵۵، ۳۹۱
فهرست ستارگان ← کاتالوگ ستارگان
فهرست کسوف‌ها و خسوف‌ها ۲۹۶، ۴۶۰
فهرست مه‌سیه ۴۶، ۷۲

ق

قائد ۱۸، ۲۳، ۴۲۹، ۴۳۵
قاعدهٔ بده ۳۱۳، ۴۲۹، ۴۳۷
قانون جرم- درخشندگی ۱۴۹
قانون عام گرانش ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۳۲، ۴۵۹
قانون وین ۱۲۸، ۴۲۹، ۴۵۰
قدر
... ظاهری ۲۰، ۲۳، ۲۸، ۳۱، ۴۵، ۵۳، ۷۲، ۷۶، ۱۵۱، ۳۴۳، ۴۰۸، ۴۲۹
... مطلق ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۹، ۱۵۳، ۱۵۸، ۱۷۹، ۱۸۵، ۱۹۰، ۴۰۸، ۴۲۹، ۴۵۷
قراولان ۲۸، ۳۰، ۴۰، ۵۶، ۴۲۹، ۴۴۵
قطب آسمان ۲۶۰، ۴۲۹، ۴۳۷
قطب جنوب ← قطب‌ها
قطب شمال ← قطب‌ها
قطب‌ها
... ی آسمان ۲۹، ۳۲، ۱۸۵، ۲۶۰، ۴۰۸
یخ بودن زمین در ... ۲۵۶
وزن اجسام در ... ۲۵۶
قلائص ۵۳، ۵۴، ۴۴۱
قلب‌الاسد ۲۳، ۳۲، ۴۰، ۴۱، ۵۰، ۷۴، ۷۵، ۴۲۹
قلب‌العقرب ۴۵، ۵۰، ۱۵۰، ۴۲۹، ۴۳۰
قمر
پیدایش ... ۳۷۶، ۳۷۷، ۴۶۲
تعریف ... ۸، ۴۰۸
عدهٔ ... ها ۸
...های مصنوعی ← ماهواره
همچنین ← ماه و سیارات گوناگون
قنطورس ۱۳، ۴۲، ۴۸، ۵۶، ۱۳۰، ۱۹۰، ۴۱۹، ۴۲۹
α - ... ۱۳، ۴۸، ۵۶، ۸۳، ۱۳۰، ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۹۸
β - ... ۵۶
پروکسیما- ... ۵۶، ۱۳۸، ۴۱۹، ۴۴۶
قوانین کپلر ۱۳۷، ۱۹۹، ۲۱۹، ۲۲۱، ۲۲۳
قوس ۴۷، ۷۶، ۱۷۸، ۱۸۰
قوس کربن ۱۲۲
قیطس ۲۳، ۵۱، ۸۰، ۱۵۴، ۴۲۹، ۴۳۷
o - ... ← میرا
قیفاوس ۲۸، ۳۰، ۴۹، ۵۲، ۷۴، ۱۵۱، ۴۲۹، ۴۳۷، ۴۵۴

δ - ...   ۷۳، ۱۵۱ تا ۱۵۳
قیفاوسی‌ها   ۳۱، ۷۰، ۱۲۹، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۴، ۴۲۹، ۴۳۸، ۴۵۷
انواع ...   ۱۵۳

ک

کاپتین، یاکوبوس   ۱۷۹
کاتالوگ ب.د   ۲۲
کاتالوگ ستارگان ۲۲، ۷۲، ۸۳، ۱۳۶، ۱۴۲، ۱۸۹
کاتالوگ عمومی جدید(NGC).   ۷۲، ۷۴، ۴۲۹، ۴۴۴
کاتالوگ مه‌سیه   ۴۶، ۴۲۹، ۴۴۳
کارن ← شارن
کاسینی، ژان دومینیک   ۳۲۸
کالیستو   ۳۲۳، ۳۲۶
کالیستو(در افسانه)   ۱۹
کالینز، مایکل   ۲۸۵
کانون (عدسی)   ۸۷، ۸۸، ۹۰، ۱۰۳
کانون (مدار)   ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۷۰، ۳۸۶، ۳۹۲
کپلر، یوهانس   ۲، ۱۳۷، ۱۵۷، ۲۱۹
کپه ۳۵۶، ۳۵۹، ۳۶۰، ۴۳۰، ۴۴۸
کجنمائی رنگی   ۸۹، ۹۰، ۹۳، ۱۰۴، ۴۰۹، ۴۳۷، ۴۵۵
کجنمائی کروی   ۸۹، ۹۰، ۱۰۴، ۴۰۹، ۴۳۰، ۴۴۸، ۴۵۵
کرهٔ آسمان   ۱۵، ۲۹، ۴۴، ۶۳، ۲۲۵، ۴۱۳، ۴۵۵
کسوف   ۱، ۷۰، ۷۴، ۱۳۸، ۲۰۷، ۲۸۹، ۲۹۳ تا ۲۹۹، ۴۰۳، ۴۶۰
کسوف حلقوی   ۲۹۰، ۴۰۹، ۴۳۰، ۴۳۶
کف خضیب ۵۱، ۴۲۳، ۴۳۰، ۴۳۷
کلب اصغر   ۲۳، ۳۸، ۴۰، ۴۳۷، ۴۵۴
کلب اکبر   ۲۳، ۳۳، ۳۸، ۴۰، ۴۳۰، ۴۳۷، ۴۵۴
α - ...   ۳۳
همچنین ← شعرای یمانی
کلف خورشیدی ۲۰۲ تا ۲۰۶، ۴۳۰، ۴۴۸
کلیماتور   ۱۲۰، ۴۱۰، ۴۳۰، ۴۳۸
کمربند کوئیپر   ۳۴۵، ۳۵۵، ۳۵۶
کمربندهای وان آلن   ۲۶۴، ۴۳۰، ۴۴۹
کنارگذر ۲۳۸، ۳۲۹، ۳۵۳، ۴۳۰، ۴۴۰
کوال، چارلز   ۳۲۵
کوئیپر، جرالد   ۳۷۵
کوپرنیکوس، نیکولائوس ۱، ۲۲۵
کوتولهٔ سفید ۱۳۹، ۱۵۰، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۷۳، ۱۷۴، ۳۷۸، ۳۹۸، ۴۱۰، ۴۳۱
کوژماه ۲۷۳، ۴۲۰، ۴۳۰، ۴۴۱
کهکشان M۳۱ ← کهکشان بزرگ امراةالمسلسله
کهکشان NGC ۲۰۵ ۱۸۶
کهکشان NGC ۲۲۴ ← کهکشان بزرگ امراةالمسلسله
کهکشان بزرگ امراةالمسلسله ۵۲، ۵۳، ۸۰، ۱۱۰، ۱۸۶، ۴۳۰، ۴۴۱
کهکشان رادیوئی ۱۸۹، ۱۹۰، ۴۱۰
کهکشان سی‌فرت   ۱۸۹، ۱۹۰
کهکشان ما   ۱۰، ۱۲، ۱۵۷، ۱۷۷ تا ۱۸۳
همچنین ← راه‌کاهکشان
کهکشان‌ها   ۱۰، ۱۲، ۷۱، ۸۳، ۱۷۷، ۱۸۳، ۱۸۵
... ی بیضوی ← طبقه‌بندی کهکشان‌ها
...ی فعال   ۱۸۹، ۱۹۰
... ی مارپیچی ← طبقه‌بندی کهکشان‌ها
... ی نامنتظم ← طبقه‌بندی کهکشان‌ها
انتقال به سرخ ...   ۱۱۰، ۱۹۱، ۱۹۳، ۳۹۵، ۴۴۶
تشکیل ...   ۱۴، ۱۵، ۱۹۴
تعداد ... ۱۸۳
توصیف ...   ۱۲
طبقه‌بندی ... ۱۸۸، ۴۵۸

گ

گالیله (سفینه) ۲۴۷، ۳۱۷، ۳۲۰، ۳۲۸
گالیله، گالیلئو ۲، ۲۰۲، ۲۷۷
گانیمید ۳۲۳، ۳۲۶
گانیمید (افسانه) ۴۹
گروه محلی ۱۸۵، ۱۸۷، ۴۱۱، ۴۳۱، ۴۴۳، ۴۵۸
گره ← عقده
گسله ۲۶۱، ۴۳۱، ۴۴۰
گسیل امواج رادیویی
... از مشتری ۳۲۲، ۴۶۱
... از خورشید ۲۱۲
گشتکره ۲۶۵، ۲۶۶، ۴۳۱، ۴۴۹
گشودگی ۳۴، ۷۰، ۸۷، ۸۸، ۱۰۵، ۳۸۳، ۴۳۱، ۴۳۶
گنبدک ۲۸۰، ۲۸۵، ۴۳۱، ۴۳۹
گونهٔ طیفی ۱۴۳ تا ۱۴۶، ۱۴۸، ۱۵۴، ۱۶۴، ۱۹۷، ۴۳۱، ۴۴۸

ل

لاپلاس، پیر سیمون ۳۶۹
لاگرانژ، ژوزف لوئی ۳۱۶
لالاند ۲۱۱۸۵ ۱۳۳
لامپ تصویر ۲۱، ۱۰۶، ۱۸۷، ۴۳۱، ۴۴۲، ۴۵۶
لاول، پرسیوال ۳۴۳
لایهٔ D ۲۶۲
لایهٔ E ۲۶۲
لایهٔ F ۲۶۲
لایهٔ واگردان ۱۹۸، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۹۹، ۴۱۱، ۴۳۱، ۴۴۷
لرزه‌های خورشیدی ۲۱۶
لکه بزرگ سرخ ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۳، ۴۳۱، ۴۴۱
لکهٔ بزرگ سفید ۳۲۹، ۴۳۱، ۴۴۱
لوسیفر ۲۴۴
لولهٔ آلومینیومی ۳۸۳، ۳۸۴
لویتن B ۷۲۶-۸ ۱۳۷
لیتلتن، رابرت. آ. ۳۷۲
لیدا ۳۸
لیویت، هنریتا ۱۵۲

م

مادهٔ تاریک ۱۸۳، ۱۹۵، ۱۹۶
مادهٔ میان- ستاره‌ای ۱۶۳، ۱۶۶
مأموریت اُدیسه مریخ ۳۰۶
مأموریت سراسری مریخ ۳۰۶
مأموریت مارس اکسپرس ۳۰۶
ماه ۲۶۹ تا ۲۸۸
اهلهٔ ... ۲۷۳، ۴۶۰
خسوف ... ۲۸۱، ۲۸۹ تا ۲۹۳، ۴۰۳، ۴۱۱، ۴۲۲، ۴۳۱، ۴۴۳
رقص محوری ... ۲۵۴، ۲۶۱، ۴۶۰
سطح ... ۲۷۷، ۲۷۸
مطالعات ... در عصر فضا ۲۸۱ تا ۲۸۴، ۴۶۰
منشاء ... ۲۸۴، ۲۸۵
ماه قمری ۲۷۴، ۴۳۱، ۴۴۳
ماهواره ۴، ۳۰۶، ۳۲۱، ۳۶۵ تا ۳۶۸، ۴۱۲، ۴۶۲
ماه هلالی ۲۷۴، ۴۴۸، ۴۶۰
ماهی طلایی ۱۳۵، ۱۸۴، ۴۳۱، ۴۳۹
S - ... ۱۳۵، ۱۸۴
متن‌الفرس ۲۳، ۴۳۲، ۴۴۳
مثلث ۱۸۶، ۳۹۶، ۴۳۲، ۴۴۹
مثلث‌بندی ۱۲۹، ۱۹۸، ۲۳۰، ۴۴۹، ۴۳۲
مجموعه سنبله ۱۸۸، ۱۸۹
مجموعهٔ کهکشانی ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۶

مجموعه‌گیسوان برنیس ۱۸۸
محور عالم ۲۹، ۱۰۱، ۴۳۲، ۴۳۷
مخروط سایه ۲۸۸، ۲۹۰
مدارات ۵۱
مراق ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۴۱، ۴۳۷، ۴۴۳
مردمک خروجی ۳۸۵، ۳۸۶، ۴۳۲، ۴۴۰
مریخ ۷، ۱۱، ۲۱۸، ۲۲۸، ۳۰۱ تا ۳۱۲، ۴۱۱، ۴۶۰
جرم ... ۲۳۲، ۳۰۳، ۴۴۷، ۴۲۲
حرکت رجعی ... ۲۲۵، ۲۲۶، ۳۹۹
دوره‌های تناوب ... ۲۳۳، ۳۰۱، ۳۰۲
فاصله ... از خورشید ۲۲۲، ۳۰۱، ۳۱۰
فرود بر ... ۳۰۶، ۳۱۱، ۳۱۲
قمرهای ... ۳۱۱
مشتری ۸، ۲۱۸، ۳۱۰، ۳۱۹، ۳۷۶، ۴۱۹، ۴۶۱
خانوادهٔ دنباله‌دارهای ... ۳۵۴
سیارک‌ها و ... ۳۱۶
قمرهای ... ۸، ۳۲۳ تا ۳۲۶، ۳۳۲
قمرهای گالیله‌ای... ۳۲۳ تا ۳۲۶
مشعل ۲۰۲، ۴۳۲، ۴۴۰، ۴۵۸
معدل‌النهار ۳۰، ۴۴، ۶۳، ۲۵۷، ۳۹۵، ۴۳۲
مغرز ۱۸، ۲۰، ۴۳۲، ۴۴۳
مغناطیس‌کره ۲۶۴، ۴۴۳
مقابله
... مریخ و زمین ۳۰۳
مقارنه
... خارجی و داخلی ۳۰۳، ۴۱۳، ۴۳۲، ۴۴۸
... زمین و مریخ ۳۰۳
مگاپارسک ۱۹۲
ممسک‌العنان(ارابه‌ران) ۲۳، ۳۷، ۴۱۹، ۴۴۹، ۴۵۴
α - ... ← عیوق
β - ... ۷۳
ε - ... ۱۳۳، ۱۴۰
منحنی نور ۱۳۸، ۱۵۱ تا ۱۵۳
منطقةالبروج ۴۵، ۲۵۷، ۳۲۸، ۴۱۳، ۴۵۰
منظومهٔ شمسی ۸، ۱۱، ۱۲، ۵۵، ۱۷۷، ۱۹۷، ۲۶۹تا۳۷۸
آیندهٔ ... ۳۷۸، ۴۶۲
تاریخ و پیدایش ... ۳۶۹ تا ۳۷۸
توصیف ... ۱۰، ۱۱، ۱۲
سرعت ... ۴۷
مکان ... درکهکشان ۱۷۹
مکانیک ... ۲۱۹، ۳۷۰، ۴۵۹
همچنین ← سیارات و خورشید
منظومهٔ کپرنیکی ۴۱۳
موشک ساترن V ۲۸۶، ۲۸۷
مولتن، فارست ۳۷۱
مهبانگ ۱۹۳، ۱۹۵
میدان دید ۹۲، ۹۸، ۱۰۱، ۳۸۴، ۳۸۶، ۳۸۷، ۴۴۰
میدان مغناطیسی زمین ۲۱۰ تا ۲۱۲، ۲۶۳، ۳۲۱، ۴۵۸
تغییرات ... ۲۱۱
میرا ۸۰، ۱۵۴
میراندا ۳۳۷
میزان ۲۳، ۴۱
نقطهٔ اول ... ۲۵۷، ۴۰۰، ۴۴۰
میکروسکوپ چشمک‌زن ۱۴۲، ۱۴۳، ۴۳۳
میل ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۷
تعریف ... ۶۳، ۶۴
مدارات ... ۶۳
میماس ۳۳۲، ۳۳۳
مینتور ۴۵

ن

ناپیوستگی موهو ۲۶۲، ۴۳۳، ۴۴۴
ناتالون ۱۰۹

ناجذ ۲۳، ۴۳۳، ۴۳۶

ناحیهٔ HI ۱٦۴

ناحیهٔ HII ۱۸۳

ناطح ۲۳، ۴۲۴، ۴۳۳، ۴۴۱

نپتون (رب‌النوع) ۵۲

نپتون ۱۱، ۲۳۵، ۳۱۴، ۳۱۸، ۳۳۵، ۳۳۸ تا ۳۴۱

قمرهای... ۳۴۱

کشف ... ۳۴۰

نجوم ۱، ۲، ۵

نرئید ۳۴۱

نسبت بازتاب ۲۳۴

نسبت کانونی

فرمول ... ۸۷

... تلسکوپ‌های شکستی و بازتابی ۳۹۲

نستور ۳۱۵

نسر طائر ۴۹، ۴۳۰

نسر واقع ۴۷، ۴۸، ٦۱، ۷۹، ۱۴۳، ۱۴۷، ۲۵۴، ۲۵٦

نصف‌النهار ٦۲، ٦۳

نصف‌النهار سماوی مکان ۳۵

نصف‌النهار گرینویچ ٦۳

نظریهٔ حالت پایدار ۱۹۳، ۱۹۴

نظریهٔ خرده سیارات ۳۷۱، ۴۳۳

نظریهٔ سحابی لاپلاس ۳٦۹، ۴۳۳

نظریهٔ عالم نوسان‌کننده ۱۹۳، ۱۹۴

نظریهٔ مهبانگ ۱۹۳، ۱۹۵

نظریهٔ نسبیت عام ۱۳۹، ۲۴۲، ۲۹۹

نقره‌اندود کردن ۱۰۲، ۴۵٦

نقطهٔ اول حمل ٦۴، ۲۵۷، ۴۰۰، ۴۳۳، ۴۴۰

نقطهٔ اول میزان ۲۵۷، ۴۳۳، ۴۴۰

نقیصهٔ رنگی ← کجنمایی رنگی

نمایشگاه جهانی شیکاگو ۴۳

نمودار HR ← نمودار هرتسپرونگ راسل

نمودار هرتسپرونگ- راسل ۱۴۵، ۱۴٦، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۵، ۴۵۷

قیفاوسی‌ها بر ... ۱۵۴

نواختر ۷۹، ۱۵۵، ۱۵٦، ۱۵۷، ۱۷۴، ۳۹۳، ۴۰۴، ۴۴۴، ۴۴٦، ۴۴۸

نواختر عقاب ۱۵۵

نور

پراش ... ۹٦، ۴۱۹

«خم شدن» ... ۲۹۹

شکست ... ۱۳۱، ۲٦۸، ۲٦۹، ۴۰٦

نورباران ۳٦۰، ۴۱۵، ۴۳۳، ۴۴٦

نورسپهر ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۳٦، ۲۰۱، ۲۰۲، ۴۱۰، ۴۳۳، ۴۴۵

نور فرابنفش ۱٦۱، ۱٦۴

نونکی ۲۳، ۴۳۳، ۴۴۴

نهر ۲۳، ۵۳، ۴۳۳، ۴۴۸، ۴۵۵

β- ... ۵۴

نهر (شهابوارها) ۳۵۷

نیرالثریا ۸۲، ۸۳

نیرالفکه ۴۵

نیمسایه ۲۹۳، ۲۹۴، ۴۱٦، ۴۳۴، ۴۴۵

نیوتن، سر آیزک ۲، ۲۱۹، ۲۲۳، ۳۵۳، ۴۵۹

و

واچرخه ۳۲۱

واحد نجومی ۱۱، ۱۲، ۱۳۱، ۱۳۲، ۳۱۴، ۳۳٦، ۳۴٦، ۴۱٦، ۴۳٦

واروزدن الکترون ۱۸۲

واکنش گرماهسته‌ای ۱۷۱، ۱۷۲، ۲۱٦، ۳۷٦

وان آلن، جیمز آ. ۲٦۴

وایتس‌زکر، کارل فریدریش فن ۳۷۳

وستا ۳۱۳، ۴۵۰

وولف ۳۵۹ ۱۳۳

ه

هالهٔ کهکشان ۱۵۲، ۱۸۲، ۱۸۳
هرتسپرونگ ۱۴۵
هرشل، سر ویلیام ۳۳۶
هرمس ۳۱۶
هسپروس ۲۴۴
هستهٔ کهکشان ۱۸۲، ۱۸۳
هسته‌های کهکشانی فعال ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱
هکتور ۳۱۵
هلم‌هولتس، هرمان ۱۶۸
هیل، جورج الری ۱۰۷، ۲۱۴

ی

یاپتوس ۳۲۹
یدالجوزا ۱۳۵،۱۴۴
یو ۳۲۲
یون‌کره ۲۱۰، ۲۵۲، ۲۶۵، ۲۶۷، ۴۱۶



از نخستین چاپ فارسی «نجوم به‌زبان ساده» نزدیک به بیست‌وپنج سال می گذرد. در این مدت اقبال دوستداران علم نجوم از این کتاب، آن را ۱۱ بار به‌زیر چاپ برد.

در این ویرایش جدید، علاوه بر اصلاحات ضروری، مطالب زیادی بر کتاب افزوده شده و کتاب با حفظ ساختار اولیه، روزآمد شده است. اینک «نجوم به‌زبان ساده» در ۴۶۴ صفحه متن و ۳۲ صفحه عکس رنگی از اجرام سماوی و زمینی تقدیم علاقه‌مندان نجوم می شود.

قیمت: ۷۰،۰۰۰ ریال
شابک ۷-۲۵۴-۳۴۲-۹۶۴-۹۷۸
ISBN 978-964-342-254-7
9 789643 422547

موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی
گیتاشناسی
تاسیس ۱۳۵۱
WWW.GITASHENASI.COM